

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS

DECOMPOSIÇÃO E MINERALIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE
RESÍDUOS DE PLANTAS DE COBERTURA EM SOLO
CULTIVADO COM CEBOLA (*Allium cepa* L.)

ROBERTA PEREIRA MARTINS

Florianópolis, 22 de fevereiro de 2013.

ROBERTA PEREIRA MARTINS

**DECOMPOSIÇÃO E MINERALIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE
RESÍDUOS DE PLANTAS DE COBERTURA EM SOLO
CULTIVADO COM CEBOLA (*Allium cepa* L.)**

Dissertação apresentada como
requisito parcial à obtenção do
título de Mestre em
Agroecossistemas, Programa de
Pós-Graduação em
Agroecossistemas, Centro de
Ciências Agrárias,
Universidade Federal de Santa
Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo
Brunetto
Co-orientador: Prof. Dr. Jucinei
José Comin
Co-orientador: Prof. Dr. Luciano
Colpo Gatiboni

FLORIANÓPOLIS
2013.

FICHA CATALOGRÁFICA

Martins, Roberta Pereira

Decomposição e mineralização de nutrientes de resíduos de plantas de cobertura em solo cultivado com cebola (*Allium cepa* L.)/Roberta Pereira Martins - Florianópolis, SC, 2013.

69 p. ; 21cm

Orientador: Gustavo Brunetto/ Co-orientadores: Jucinei José Comin e Luciano Colpo Gatiboni

Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias.

Bibliografia: f. 63.

1. Mineralização de nutrientes; 2.Sistema Plantio Direto; 3.*Allium cepa* L.I. Brunetto, Gustavo. II. Comin, Jucinei José . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós- Graduação em Agroecossistemas. IV. Título.

TERMO DE APROVAÇÃO

ROBERTA PEREIRA MARTINS

DECOMPOSIÇÃO E MINERALIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE RESÍDUOS DE PLANTAS DE COBERTURA EM SOLO CULTIVADO COM CEBOLA (*Allium cepa* L.)

Dissertação aprovada em 22/02/2013, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação (PGA) em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Dr. Ademir Antonio Cazella
Coordenadora do PGA

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Gustavo Brunetto
Orientador e Presidente - UFSC/PGA

Dr. Alcione Miotto
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM/PPGCS

Prof. Dr. Claudio Roberto F. de S. Soares
Centro de Ciências Biológicas – UFSC/PGA

Prof. Dra. Rosete Pescador
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/PPGRGV

Florianópolis, 22 de fevereiro de 2013.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas (PGA), pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado.

Ao Departamento de Engenharia Rural (ENR), do Centro de Ciências Agrárias (CCA), da UFSC, pela disponibilidade do espaço físico do Laboratório de Análises de Solo, Água e Tecido Vegetal, para a realização das análises químicas de solo e tecido vegetal.

Ao Professor Gustavo Brunetto, que me apoio nessa jornada, pela dedicação, amizade e confiança.

Ao Professor Jucinei José Comin pelas sugestões, apoio e contribuições.

Aos Professores Claudio Roberto F. de S. Soares e Luciano Colpo Gatiboni, ao Pesquisador Gustavo Trentin e ao Doutorando Felipe Lorensini, pelas sugestões ao longo do mestrado e correções dos manuscritos.

Ao Dr. Alcione Miotto e a Professora Rosete Pescador, pela disponibilidade em participar como avaliadores da banca de Mestrado.

Ao Doutorando Rafael da Rosa Couto pela amizade, paciência, determinação, ensinamentos, sugestões, apoio e ajuda na construção e correções dos manuscritos e da Dissertação.

Ao Graduando, Marcel Pires de Moraes, pela valiosa colaboração na confecção das figuras dos manuscritos e da Dissertação.

À secretária do PGA, Janete Guenka e a secretária do ENR, Andréa B. Ventura, pela amizade, conselhos e ajuda na solução de dificuldades burocráticas ao longo do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), pelo apoio financeiro parcial do trabalho.

Aos colegas de mestrado, Ana Paula Camargo, Paula Sete, Elaine dos Santos, Lucas Benedett e Monique Souza pelo convívio, amizade e quando necessário pela preciosa ajuda.

Aos Amigos Maria Souza Martins, Juliana Souza Martins, Fabiano Souza Martins, Cibele Saraiva Kunz, Tharine Dal Cim, Barbara Santos Ventura e Vilmar Muller Junior, pela ajuda e apoio ao longo dessa jornada.

Aos bolsistas de Iniciação Científica vinculados ao Prof. Gustavo Brunetto, Jucinei José Comin e Paulo Emílio Lovato; Bruno Salvador Oliveira, Célio Pescador Machado, Vitor Ambrosini, Janaína Heinzen, Marcel Pires de Moraes, Gustavo Luiz, Laís Bernardino e Ludiana Canton, pela ajuda nas análises de solo e tecido vegetal, amizade e convívio.

Ao Anderson Paes Martins, meu esposo, pelo apoio nas horas boas e ruins, carinho e paciência, pois sem ele eu não teria realizado o mestrado.

Ao Matheus Paes Martins, meu filho, pela sua existência, pois sem ele eu não teria tanta garra para concluir o mestrado.

Aos meus pais Jânio Carlos Martins e Rosa Maria Pereira Martins, e ao meu irmão Thiago Pereira Martins, que sempre me apoiaram nessa jornada.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas
Universidade Federal de Santa Catarina

DECOMPOSIÇÃO E MINERALIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE RESÍDUOS DE PLANTAS DE COBERTURA EM SOLO CULTIVADO COM CEBOLA (*Allium cepa* L.)

Autor: Roberta Pereira Martins
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Brunetto
Co-orientador: Prof. Dr. Jucinei José Comin
Co-orientador: Prof. Dr. Luciano Colpo Gatiboni

Florianópolis, 22 de fevereiro de 2013.

Ao longo da decomposição de resíduos de plantas de cobertura do solo, solteiras ou consorciadas, em Sistema Plantio Direto (SPD) de cebola (*Allium cepa* L.), significativas quantidades de carbono (C) e nutrientes retornam para o solo. O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a decomposição e mineralização de nutrientes de resíduos de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, em solo com histórico de cultivo de cebola. No artigo I, intitulado “Mineralização do nitrogênio de resíduos de plantas de cobertura solteiras e consorciadas em um solo com histórico de cultivo de cebola”, um solo sem e com resíduos de aveia preta (*Avena sativa* L.), centeio (*Secale cereale* L.), nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.), aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro foram incubados em incubadora DBO, com temperatura e umidade controlada durante 90 dias. Ao longo da incubação o solo foi coletado e analisado os teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- . Com os dados foi calculado o N mineral, a mineralização líquida de N, N mineralizado, N total - N mineralizado, potencial de mineralização e a constante de mineralização. No artigo II, intitulado “Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de plantas de cobertura em solos cultivados com cebola”, os mesmos resíduos de plantas de cobertura do solo do Artigo I foram acondicionados em bolsas de decomposição. As bolsas foram depositadas sobre a superfície do solo em uma área cultivada sob SPD de cebola, na estação experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural S.A (Epagri), em Ituporanga, Santa Catarina (SC), Brasil. No tempo zero e aos 18, 36, 54, 72, 90 e 108 dias as bolsas foram coletadas, os resíduos foram preparados e submetidos a

análise de lignina, celulose e os teores totais de C, N, P, K, Ca e Mg. Os resultados do Artigo I; Os maiores teores de amônio, ao longo do experimento, que correspondeu do transplante até a bulbificação da cebola foram observados no solo com a deposição de resíduos de nabo-forrageiro e do consórcio centeio+nabo-forrageiro. Os maiores teores de nitrato e N-mineral dos 36 até os 90 dias após o início da incubação (DAI), e de N-mineralizado dos 18 até os 92 DAI foram observados no solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro, correspondente aos estágios de transplante até a bulbificação da cebola. A taxa de mineralização foi positiva em todas as datas de coleta do solo com deposição de resíduos de centeio, nabo-forrageiro e dos consórcios aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro. Mas, no solo com a deposição de resíduos de aveia preta os valores de N-líquido foram negativos aos 18 e 72 DAI, indicando imobilização de N. Os resíduos de nabo-forrageiro e o consorcio centeio+nabo-forrageiro apresentaram o maior potencial de mineralização, conferindo maior disponibilidade de N para cebola ao longo do seu ciclo. No Artigo II, O cultivo solteiro, especialmente, de centeio provocou maior permanência de resíduos na superfície do solo ao longo do ciclo da cebola, o que aumenta a sua proteção. Mas, o cultivo solteiro de nabo-forrageiro causou a menor permanência de resíduos na superfície do solo e maior liberação, em especial, de carbono, nitrogênio, fósforo e potássio. O cultivo consorciado de aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro provocou uma liberação, até os 108 dias após a deposição dos resíduos na superfície do solo, especialmente, de nitrogênio, fósforo e potássio, similar ao cultivo solteiro de aveia e centeio. A relação C/N pode não ser adequada, isoladamente, para predição da decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de espécies de plantas de cobertura do solo, solteiras e consorciadas, em decomposição na superfície do solo, que apresentam valores de C/N baixos e semelhantes entre si, sendo os teores de celulose, lignina e os valores de relação celulose/lignina, lignina/N e lignina/P mais adequados.

Palavras-chave: Mineralização de nutrientes; Sistema Plantio Direto; Adubação verde.

ABSTRACT
Master Dissertation
Post-Graduate Program in Agroecosystems – UFSC

**DECOMPOSITION AND MINERALIZATION OF NUTRIENTS
FROM COVER CROP RESIDUES IN SOIL PLANTED TO
ONIONS (*Allium cepa* L.)**

Author: Roberta Pereira Martins
Advisor: Prof. Dr. Gustavo Brunetto
Co-Adviser: Prof. Dr. Jucinei José Comin
Co-Adviser: Prof. Dr. Luciano Colpo Gatiboni

Florianópolis, February, 22, 2013.

Throughout decomposition of cover crop residues, alone and in combination, in a no-till system (NTS) for onions (*Allium cepa* L.), significant amounts of carbon (C) and nutrients are returned to the soil. This study was carried to evaluate the decomposition and release of nutrients from cover crop residues, both alone and in combination, in a soil with a history of growing onions. In paper I, entitled “Nitrogen mineralization from cover crop residues, alone and in combination, in a soil with a history of growing of onions” a soil with and without residues of black oats (*Avena sativa* L.), rye (*Secale cereale* L.), oilseed radish (*Raphanus sativus* L.), black oats+oilseed radish and rye+oilseed radish were incubated in a BOD incubator for 90 days. Throughout the incubation period, the soil was collected and the $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ contents were analyzed. Mineral N, liquid mineralization of N, mineralized N, total N – mineralized N, mineralization potential and the mineralization constant were calculated. In paper II entitled “Decomposition and release of nutrients from cover crop residues in soils planted to onions”, the same cover crop residues were placed in litter bags. The bags were deposited on the soil surface in an onion growing area under a NTS at the Epagri experimental station in Ituporanga, Santa Catarina (SC), Brazil. At time zero and at 18, 36, 54, 72, 90 and 108 days, the bags were collected and the residues were prepared and subjected to analysis of lignin, cellulose, polyphenols and C, N, P, K, Ca and Mg content. The results from paper I; the greatest contents of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ were observed in the soil with the deposition of oilseed radish litter and of the combination of rye+oilseed radish. The greatest contents of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ and mineral N from 36 to 90 days after

incubation and of mineralized N from 18 to 92 were observed in the soil with the deposition of rye+oilseed radish litter. The mineralization rate was positive in all the soil collections with deposition of rye and oilseed radish litter, and of the combinations of black oats+oilseed radish and rye+oilseed radish, and negative at 18 and 72 days after incubation in the soil with deposition of black oats litter. The oilseed radish litter and the combination of rye+oilseed radish showed the greatest potential for mineralization. In paper II, single cultivation, especially of rye, has caused higher permanency of residues on the soil surface during the onion cycle, which increases its protection. But the oilseed radish single cultivation has caused the lower permanency of residues on the soil surface and a higher liberation especially of carbon, nitrogen, phosphorus, and potassium. Until 180 days after the deposition of the residues on the soil surface, the combined cultivation of black oat+oilseed radish and rye+oilseed radish has especially caused a liberation of nitrogen, phosphorus, and potassium, similar to the single oat and rye cultivation. For itself the relation C/N cannot be appropriate to predict the decomposition and liberation of nutrients from residues of cover crop specimens, single and in combination, in decomposition on the soil surfaces that present low C/N values and similar among them, being the rates of cellulose, lignin, and the relation values of cellulose/lignin, lignin/N and lignin/P more appropriate.

Keywords: nutrient mineralization; No-Till System, green manure

LISTA DETABELAS E QUADROS

ARTIGO I

Tabela 1.	Características químicas e bioquímicas dos resíduos de espécies de plantas de cobertura usados na incubação.....	34
Tabela 2.	Resumo da ANOVA dos efeitos dos tratamentos e dias após a incubação (DAI).....	35

ARTIGO II

Quadro 1.	Características químicas iniciais dos resíduos aveia preta (AV), centeio (CE) e nabo-forrageiro (NF), solteiros e consorciados e quantidades adicionadas em cada tratamento de matéria seca (MS), carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).....	54
Quadro 2.	Teor (%) total de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), celulose (Cel.), lignina (Lig.) e relação cel./lig., C/N, lig./N e lig./P em resíduos de aveia preta (AV), centeio (CE) e nabo-forrageiro (NF), aveia preta + nabo-forrageiro (AV+NF) e centeio + nabo-forrageiro (CE+NF), dias após a deposição (DAD) na superfície de um solo cultivado com cebola (média±desvio padrão).....	55
Quadro 3.	Parâmetros dos modelos ajustados ($X = X_0 \exp(-kt)$) aos valores remanescentes de matéria seca (MS), carbono (C), celulose (Cel.) e lignina (Lig.), tempo de meia-vida ($t^{1/2}$) e o valor de coeficiente de determinação (R^2), em resíduos de aveia preta (AV), centeio (CE) e nabo-forrageiro (NF), aveia preta+nabo-forrageiro (AV+NF) e centeio+nabo-forrageiro (CE+NF), em decomposição sobre a superfície do solo cultivado com cebola.....	56
Quadro 4.	Parâmetros dos modelos ajustados ($X = X_0 \exp(-kt)$) aos valores remanescentes do total de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio	

(Mg), tempo de meia-vida ($t^{1/2}$) e o valor de coeficiente de determinação (R^2), em resíduos de aveia preta (AV), centeio (CE) e nabo-forrageiro (NF), aveia preta+nabo-forrageiro (AV+NF) e centeio+nabo-forrageiro (CE+NF), em decomposição sobre a superfície do solo cultivado com cebola.....57

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

Figura 1. Teores de $N-NH_4^+$ (a), $N-NO_3^-$ (b) e N-mineral (c) ($mg\ kg^{-1}$) no solo durante a sua incubação com a deposição de resíduos de aveia preta, centeio e nabo-forrageiro, solteiros e consorciados.....36

Figura 2. Teores de N mineral líquido (a), N mineralizado (b) e N total-N mineralizado (c) ($mg\ kg^{-1}$) no solo com e sem deposição de resíduos durante a incubação.....37

ARTIGO II

Figura 1. Temperatura média do ar e do solo, e precipitação ao longo da condução do experimento.....53

Figura 2. Percentagem remanescente de matéria seca (MS) (a), carbono (C) (b), celulose (Cel.) (c) e lignina (Lig.) (d), em resíduos de aveia preta (AV), centeio (CE) e nabo-forrageiro (NF), aveia preta+nabo-forrageiro (AV+NF) e centeio+nabo-forrageiro (CE+NF), em decomposição sobre a superfície do solo cultivado com cebola58

Figura 3. Percentagem remanescente de nitrogênio (N) (a), fósforo (P) (b), potássio (K) (c), cálcio (Ca) (d) e magnésio (Mg) (e), em resíduos de aveia preta (AV), centeio (CE) e nabo-forrageiro (NF), aveia preta+nabo-forrageiro (AV+NF) e centeio+nabo-forrageiro (CE+NF), em decomposição sobre a superfície do solo cultivado com cebola59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2 ARTIGO I- MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO DE RESÍDUOS DE PLANTAS DE COBERTURA SOLTEIRAS E CONSORCIADAS EM UM SOLO COM HISTÓRICO DE CULTIVO DE CEBOLA.....	16
2.1 Resumo.....	16
2.2 Introdução.....	18
2.3 Material e métodos.....	19
2.4 Resultados e Discussão.....	22
2.5 Conclusões.....	28
2.6 Referências.....	39
3 ARTIGO II- DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DE RESÍDUOS DE PLANTAS DE COBERTURA EM SOLOS CULTIVADOS COM CEBOLA.....	38
3.1 Resumo.....	38
3.2 Introdução.....	40
3.3 Material e métodos.....	41
3.3.1 Localização da área experimental e tratamentos.....	41
3.3.2 Coleta da parte aérea das espécies de plantas de cobertura e, preparo e deposição das bolsas de decomposição.....	43
3.3.3 Coleta das bolsas de decomposição e análises dos resíduos.....	44
3.3.4 Análise estatística.....	45
4 Resultados e Discussão.....	45
3.6 Conclusões.....	48
3.7 Literatura citada.....	49
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

1 INTRODUÇÃO GERAL

O estado de Santa Catarina (SC) possui a maior área cultivada com cebola (*Allium cepa* L.) do Brasil com, aproximadamente, 21 mil hectares. As maiores áreas de cultivo são encontradas nas microrregiões de Rio do Sul, Tabuleiro e Ituporanga. As propriedades que cultivam a cebola normalmente possuem mão-de-obra familiar e área de 15 a 100 hectares (ICEPA-SC, 2011). Em geral, a cebola é cultivada em áreas com relevo acidentado e em Sistema de Cultivo Convencional (SCC), que estimula a incidência de plantas daninhas; as perdas de solo, água e nutrientes pela erosão hídrica. Para minimizar estes efeitos negativos, desde o início dos anos 80, tem sido estimulado o uso do Sistema Plantio Direto (SPD) em cultivos de cebola.

No SPD de cebola, são cultivadas no outono/inverno especialmente espécies de plantas de cobertura do solo da família das gramíneas, como o centeio (*Secale cereale* L.) e a aveia preta (*Avena sativa* L.) e crucífera, nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.), solteiras ou consorciadas. Com isso, espera-se que a matéria verde da parte aérea proporcione cobertura da superfície do solo, dissipando a energia cinética da gota da chuva e diminuindo a velocidade do escoamento da água na superfície do solo, o que aumenta o armazenamento de água no perfil do solo e diminui consideravelmente a erosão hídrica. O uso de plantas de cobertura do solo com sistema radicular pivotante e bem desenvolvido, como o nabo-forrageiro, possuem capacidade de se desenvolver em solos com camadas compactadas, formando bioporos estáveis, o que melhora os atributos físicos do solo (Reinertsen et al., 1984). Somado a isso, as espécies de plantas de cobertura do solo absorvem nutrientes de camadas mais profundas, incrementando o conteúdo de nutrientes no tecido vegetal. No final do inverno e início da primavera, as espécies em áreas cultivadas com cebola são roçadas, usando roçadeira mecânica ou mais comumente manejadas com uso de rolo-faca. Com isso, os resíduos vegetais são depositados sobre a superfície do solo, proporcionando, continuidade da cobertura da superfície do solo o que, além de diminuir o impacto da gota da chuva, aumenta o reflexo de raios solares, o que mantém a umidade do solo e diminui a oscilação da temperatura, condições favoráveis a atividade da população microbiana no solo.

Ao longo do ciclo da cebola os resíduos depositados na superfície do solo são decompostos pela população microbiana, especialmente, fungos e bactérias. Estes usam as cadeias carbonadas dos resíduos como fonte de energia e matéria para as células microbia nas,

sendo parte do carbono (C) liberado para atmosfera na forma de CO₂, mas parte do carbono pode permanecer recalcitrante no solo, podendo inclusive incrementar o conteúdo de matéria orgânica do solo. Enquanto isso, os nutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), presentes nos resíduos podem ser liberados para o solo e caso não sejam transferidos pela solução escoada na superfície do solo, pela solução percolada no perfil, imobilizados pela população microbiana e, especialmente, para o N, transferido por volatilização e desnitrificação, podem ser disponíveis para a cebola ao longo do seu ciclo. Os nutrientes liberados dos resíduos em decomposição podem suprir parte da demanda de nutriente da cebola, caso exista um sincronismo entre a taxa de liberação e absorção pela cultura. Com isso, acredita-se que inclusive podem ser reduzidas as quantidades de nutrientes adicionadas ao solo via fertilizantes.

Mas, a decomposição e, por consequência, a transformação de nutrientes em formas assimiláveis pelas plantas são dependentes das condições edafoclimáticas, por exemplo, umidade e temperatura do solo, teor de nutrientes e oxigênio, valor de pH, atividade de microrganismos decompositores (Cabrera et al., 2005); mas também, da composição química dos resíduos das espécies das plantas de cobertura como, conteúdo de celulose, lignina, nutrientes e de relações, entre elas, C/N, lignina/N e lignina/P (Marcelo et al., 2012), que é distinta entre os resíduos de plantas cultivadas solteiras ou consorciadas.

A decomposição em trabalhos de campo pode ser avaliada usando a técnica de bolsas de decomposição. Assim, massa verde ou matéria seca são adicionadas em bolsas com dimensões pré-estabelecidas. Em SPD as bolsas são depositadas sobre a superfície do solo, por exemplo, quando hortalças, no caso da cebola, no momento do transplantio das mudas ou em algum outro estágio fenológico de interesse. Ao longo do tempo, as bolsas são coletadas, podendo as coletas coincidir com estágios fenológicos da espécie de importância econômica. Os resíduos são retirados das bolsas, lavados ou não, secos, quantificada a matéria seca remanescente e preparados para as análises de nutrientes remanescentes no tecido. Caso seja interesse apenas avaliar a liberação de nutrientes, por exemplo, de N de resíduos, pode ser usando o método da incubação, onde amostras de solo com resíduos são acondicionadas em recipientes em câmara de incubação, com controle de temperatura e umidade do solo. Ao longo do tempo, que também pode simular o ciclo da cultura de interesse econômico, amostras de solo e resíduos são coletadas e, posteriormente são

determinadas as formas de N no solo, especialmente, N-NH_4^+ e N-NO_3^- , permitindo calcular o teor de N-mineral (N_{min}) e a mineralização líquida (N_{liq}), que indica se houve predomínio da mineralização ou imobilização do N. A interpretação dos resultados de N obtidos nos experimentos de incubação também pode ser melhorada utilizando-se modelos de simulação, como aquele que considera um único reservatório de N mineralizável no solo, que possibilitam determinar a fração do N orgânico (N_{org}) potencialmente mineralizável e a constante de mineralização (k).

Na região Sul do Brasil vários trabalhos já foram realizados para avaliar a decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de plantas de cobertura, solteiras ou consorciadas, especialmente, entre gramíneas e leguminosas em SPD de culturas anuais. Porém, os trabalhos avaliando a decomposição e liberação de nutrientes de gramíneas e crucíferas, solteiras e consorciadas, em SPD ao longo do ciclo da cebola nas condições edafoclimáticas de estado de SC, que é o maior produtor da cultura no Brasil são escassos.

O presente trabalho objetivou (a) determinar o potencial de mineralização de N, em condições controladas, em solo com histórico de cultivo de cebola, com e sem a adição de resíduos de espécies de plantas de cobertura e (b) avaliar a decomposição e a liberação de nutrientes, em condições de campo, de resíduos de espécies de plantas de cobertura, em um solo cultivado com cebola.

2 Mineralização do nitrogênio de resíduos de plantas de cobertura solteiras e consorciadas em solo com histórico de cultivo de cebola⁽¹⁾

2.1. Resumo

Os resíduos de espécies de plantas de cobertura de inverno em decomposição sobre a superfície do solo podem aumentar a disponibilidade de formas de nitrogênio (N) durante o ciclo da cebola. O trabalho objetivou avaliar a mineralização de N de resíduos de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, em um solo com histórico de cultivo de cebola. O solo foi coletado, preparado, acondicionado em recipientes de acrílico e na sua superfície foram adicionados resíduos de aveia preta, centeio, nabo-forrageiro, aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro, e incubados. No tempo zero e aos 18, 36, 54, 72 e 90 dias após o início da incubação (DAI) o solo foi coletado e determinado os teores de N total, N-NO_3^- e N-NH_4^+ . Calculou-se os valores de N mineral, N mineral líquido, N mineralizado e N total - N mineralizado. Os maiores teores de N-NH_4^+ foram observados no solo com a deposição de resíduos de nabo-forrageiro e do consórcio centeio+nabo-forrageiro. Os maiores teores de N-NO_3^- e N-mineral dos 36 até os 90 DAI e de N-mineralizado dos 18 até os 92 DAI foram observados no solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro. A taxa de mineralização foi positiva em todas as coletas do solo com deposição de resíduos de centeio e nabo-forrageiro, e dos consórcios aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro e negativa aos 18 e 72 DAI, no solo com deposição de resíduos de aveia.

⁽¹⁾ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor. Trabalho financiado com recursos parciais da Fapesc.

⁽²⁾ Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, CEP 88034-000, Rodovia Admar Gonzaga, 1346, Florianópolis, SC. E-mail: agrobecca@yahoo.com.br (autora para correspondência); jcomin@cca.ufsc.br, crfsoares@gmail.com; brunetto.gustavo@gmail.com

⁽³⁾ Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, CEP 88.520-000, Av Luiz de Camões, 2090, Lages, SC. E-mail: lgatiboni@gmail.com

⁽⁴⁾ Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, CEP 88040-970, E-mail: rrccouto@hotmail.com.

Os resíduos de nabo-forrageiro e o consorcio centeio+nabo-forrageiro apresentaram o maior potencial de mineralização.

Termos para indexação: Decomposição de resíduos, N-mineral, *Allium cepa* L.

Nitrogen mineralization of cover plant litter individually and jointly in a soil with a history of planting of onion

Abstract – Winter cover plant species in decomposition on the soil surface can increase the nitrogen (N) availability during the onion crop cycle. The study was carried to assess N mineralization of cover plant litter individually and jointly in a soil with a history of planting of onions. The soil was collected, prepared, placed in acrylic containers and to its surface were added litter of black oats, rye, oilseed radish, black oats+oilseed radish and rye+oilseed radish and incubated, with the soil being collected and the total N, NO_3^- -N and NH_4^+ -N contents being determined at time zero and at 18, 36, 54, 72 and 90 days after the beginning of incubation. The values of mineral N, liquid mineral N, mineralized N and total N - mineralized N were calculated. The greatest contents of NH_4^+ -N were observed in the soil with the deposition of oilseed radish litter and of the combination of rye+oilseed radish. The greatest contents of NO_3^- -N and mineral N from 36 to 90 days after incubation and of mineralized N from 18 to 92 were observed in the soil with the deposition of rye+oilseed radish litter. The mineralization rate was positive in all the soil collections with deposition of rye and oilseed radish litter, and of the combinations of black oats+oilseed radish and rye+oilseed radish, and negative at 18 and 72 days after incubation in the soil with deposition of black oats litter. The oilseed radish litter and the combination of rye+oilseed radish showed the greatest potential for mineralization.

Index terms: Decomposition, mineral N, *Allium cepa* L.

2.2. Introdução

O estado de Santa Catarina (SC) possui a maior área cultivada com a cebola (*Allium cepa* L.) do Brasil. O cultivo é realizado sob Sistema de Cultivo Convencional (SCC), em menor escala sob Sistema Plantio Direto (SPD), onde espécies de plantas de cobertura da família das gramíneas, entre elas, a aveia preta (*Avena sativa* L.) e o centeio (*Secale cereale* L.), e das crucíferas, principalmente o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) são cultivadas solteiras ou consorciadas durante o outono e inverno. No final do inverno e início da primavera, antes do transplante das mudas de cebola, a parte aérea das espécies de plantas de cobertura é depositada sobre a superfície do solo. Com isso, espera-se maior proteção da superfície do solo contra o impacto das gotas da chuva o que, por consequência, diminui a erosão hídrica; menor incidência de plantas espontâneas; maior armazenamento de água no perfil do solo, mas também, mineralização de nutrientes, entre eles, o nitrogênio (N), para o solo durante o processo de decomposição dos resíduos, o que pode aumentar a disponibilidade dos mesmos às culturas (Flower et al., 2011; Souza et al., 2013).

O carbono (C) orgânico dos resíduos de espécies de plantas de cobertura, solteiras ou consorciadas, depositados na superfície do solo é utilizado como fonte de energia pelos microrganismos, como fungos e bactérias, liberando parte do CO₂ para a atmosfera; enquanto que parte do N contido nos resíduos, pode ser mineralizada, incrementado as suas formas minerais, como o amônio (N-NH₄⁺) e o nitrato (N-NO₃⁻) no solo (Janssens et al., 2010), que podem ser absorvidas pela cebola ao longo do seu ciclo. No entanto, a decomposição dos resíduos e, por consequência, a mineralização de N é dependente de condições ambientais como, por exemplo, da umidade e da temperatura do solo, dos valores de pH do solo e das características químicas do resíduo, especialmente, do teor total de N e C (Dilly et al., 2003; Sylvia et al., 2004); dos valores de celulose e hemicelulose (Meier et al., 2006; Sanchez, 2009), lignina (Sanchez, 2009; Vahdat et al., 2011); e polifenóis totais (Joannis et al., 2008; Thorpe et al., 2011). O processo de decomposição também é influenciado pelas relações celulose/lignina, lignina/N, polifenóis/N e C/N (Trinsoutrot et al., 2000; Meier et al., 2006; Sanchez, 2009; Mohanty et al., 2011). Em geral, os microrganismos decompositores não conseguem quebrar as estruturas para retirar o C de resíduos muito lignificados ou com alta relação C/N, o que, por consequência, diminui a velocidade de decomposição, e consequentemente, a mineralização de N (Månsson & Falkengren-Grerup, 2003; Bonanomi et al., 2013).

A aveia preta e o centeio, em geral, possuem baixos teores de N, o que se reflete em alta relação C/N, mas também possuem altos teores de lignina (Sá et al., 2001; Séguy et al., 2006). Porém, quando a aveia preta e o centeio são consorciados com o nabo-forrageiro, que possui baixa relação C/N e baixos teores de lignina, a matéria seca (MS) passa a apresentar uma relação C/N intermediária e menores teores de lignina, o que pode favorecer a decomposição e, por consequência, a mineralização de N (Cabrera et al., 2005). Porém, a taxa de mineralização de N de resíduos destas espécies, solteiras ou consorciadas, ao longo do ciclo da cebola na região Sul do Brasil é pouco conhecida. Esta pode ser estimada usando o método da incubação (Stanford & Smith, 1972; Camargo et al., 1997; Fioreze et al., 2012), onde amostras de solo com resíduos são acondicionadas em recipientes em câmara de incubação, com controle de temperatura e a umidade do solo é monitorada. Assim, é possível ao longo do tempo simular o ciclo da cultura de interesse econômico, como a cebola, coletando-se amostras de solo e resíduos e, posteriormente, determinando as formas de N no solo, especialmente, N-NH_4^+ e N-NO_3^- , permitindo calcular o teor de N-mineral (N_{min}) e a mineralização líquida (N_{liq}), que indica se houve predomínio da mineralização do N (valor positivo) ou da sua imobilização (valor negativo) (Neve et al., 2004). Para melhorar a interpretação dos resultados de N obtidos nos experimentos de incubação são utilizados modelos de simulação, como aquele que considera um único reservatório de N mineralizável no solo (Stanford & Smith, 1972), o que possibilita determinar a fração do N orgânico (N_{org}) potencialmente mineralizável e a constante de mineralização (k) (Camargo et al., 1997). O trabalho objetivou avaliar a mineralização do N de resíduos de espécies de plantas de cobertura de inverno, solteiras e consorciadas, em um solo com histórico de cultivo de cebola.

2.3. Material e métodos

Em julho de 2011, em um experimento intitulado *Rendimento de cebola e atributos químicos de solo cultivado com plantas de cobertura sob SPD*, instalado em julho de 2009 e localizado na área experimental da Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (Epagri), em Ituporanga (SC), foi coletada a parte aérea de plantas de cobertura solteiras e consorciadas: aveia preta, centeio, nabo-forrageiro, aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro. Em seguida, a massa verde das plantas de cobertura foi seca em estufa com circulação de ar forçado a 65°C até

peso constante. Logo depois, a MS foi pesada e determinada à produção por hectare e reservada em duas partes. Nos tratamentos consorciados a MS foi determinada separadamente para cada espécie. Uma primeira parte foi submetida à análise química (Tabela 1), enquanto a segunda parte das amostras de tecido foi cortada manualmente em tamanho de, aproximadamente, 1 a 2 cm, como proposto por Giacomini et al. (2008) e, em seguida, foi reservada. No mesmo experimento, em outubro de 2011, foram coletadas, na camada de 0-20 cm, amostras de um solo Cambissolo Húmico (Embrapa, 2006), que apresentava os seguintes atributos: 300 g kg⁻¹ de argila; 40,8 g kg⁻¹ de matéria orgânica; 23,58 g kg⁻¹ de carbono orgânico total; pH em água de 6,16; 145,2 mg kg⁻¹ de P disponível e 276 mg kg⁻¹ de K trocável (extrator Mehlich 1); 7,18 cmol_c kg⁻¹ de Ca, 3,38 cmol_c kg⁻¹ de Mg e 0,0 cmol_c kg⁻¹ de Al trocáveis (extrator KCl 1mol L⁻¹); 359,6 mg kg⁻¹ de N total, 1,53 mg kg⁻¹ de N-NO₃⁻, 4,60 mg kg⁻¹ de N-NH₄⁺ e capacidade de troca de cátions (CTC_{pH7,0}) de 14,32 cmol_c kg⁻¹. Posteriormente, o solo foi passado em peneira com malha de 4 mm e corrigida a umidade para 80% da capacidade de campo. Logo depois, 102,75 g de solo foram adicionados em recipientes de acrílico, com área de 20,83 cm², em duas etapas, sendo cada amostra compactada (para maior uniformização da densidade). Com isso, se obteve a densidade de 1,02 g cm⁻³, semelhante àquela verificada no solo cultivado com cebola, semelhante àquela verificada no solo cultivado com cebola.

Os tratamentos foram solo (T1), aveia preta (T2), centeio (T3), nabo-forrageiro (T4), aveia preta+nabo-forrageiro (T5) e centeio+nabo-forrageiro (T6). Em todos os tratamentos foi adicionado sobre a superfície do solo, em cada recipiente de acrílico, 1,65 g MS de aveia preta, 1,55 g MS de centeio, 1,60 g MS de nabo-forrageiro, 2,07 g MS de aveia preta+nabo-forrageiro e 2,18 g MS de centeio+nabo-forrageiro, equivalente a 792,12 kg ha⁻¹ de MS no T2; 744,11 kg ha⁻¹ de MS no T3; 768,12 kg ha⁻¹ de MS no T4; 993,75 kg ha⁻¹ de MS no T5 e 1046,56 kg ha⁻¹ de MS no T6. A quantidade de MS adicionada em cada recipiente de acrílico foi definida com base na sua área. As quantidades de MS por hectare adicionada em cada tratamento correspondem a, aproximadamente, a média de MS produzida ao longo dos anos no experimento *Rendimento de cebola e atributos químicos de solo cultivado com plantas de cobertura sob SPD*.

Em seguida, nove recipientes de acrílico, que representaram as repetições, foram acondicionados em frascos de 1500 mL, para evitar a perda excessiva de umidade. Imediatamente foram armazenados em

câmara de incubação, com temperatura constante de 17,6°C, que é a temperatura média ao longo dos meses de setembro, outubro e novembro (Epagri, 2012) e que corresponderam ao período do transplante até a bulbificação da cebola, na região de Ituporanga (SC); onde os resíduos das plantas de cobertura foram coletados. O delineamento experimental usado foi um bifatorial inteiramente casualizado com três repetições. A cada três dias os recipientes contendo as unidades experimentais foram abertos durante 15 minutos em local arejado, para evitar a saturação de gases no interior dos recipientes. A umidade de cada unidade experimental foi monitorada diariamente e quando necessário foi adicionado água destilada para manter a capacidade de campo do solo a 80%.

No momento da instalação do experimento (tempo 0) e aos 18, 36, 54, 72 e 90 dias depois do início da incubação, equivalente aos estádios fenológicos da cebola: transplante, 5ª folha verdadeira, 7ª folha verdadeira, formação da 8ª à 14ª folha, últimas folhas e bulbificação (Gandin et al., 2002), o solo foi retirado dos recipientes, homogeneizado e separado em duas porções. Uma porção de cinco gramas de solo foi preparada e submetida à análise de N-NH_4^+ e N-NO_3^- (Tedesco et al., 1995). A segunda porção do solo foi preparada e submetida à determinação da umidade do solo e, com isso, o teor de N foi expresso em mg N kg^{-1} solo seco. O N na forma de nitrato (N-NO_3^-) nas amostras de solos foi desprezado porque em pré-testes seus teores foram muito pequenos nos tratamentos.

Com os teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- foi calculado o teor de N-mineral (N_{min}): $\text{N}_{\text{min}} = \text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$. A evolução da taxa de mineralização de N dos diferentes tratamentos ao longo da incubação foi avaliada através da mineralização líquida (N_{liq}): $\text{N}_{\text{liq}} = \text{N}_{\text{min}} \text{ solo do tratamento} - \text{N}_{\text{min}} \text{ do solo testemunha}$, onde: N_{liq} = mineralização líquida (mg de N kg^{-1}); N_{min} = teores de N-NH_4^+ + N-NO_3^- em cada tempo avaliado (mg de N kg^{-1}). A N_{liq} indica se houve predomínio da mineralização do N (valor positivo) ou da sua imobilização (valor negativo) em cada tempo de coleta e para cada combinação solo-resíduo (Giacomini, 2005). A cinética de mineralização, os potenciais de mineralização (No) e a constante de mineralização (k) de N foram obtidos a partir dos valores acumulados de N_{min} durante o período de incubação e foram ajustados pelo modelo matemático de progressão não linear. O potencial de mineralização (No) foi determinado através da equação $\text{N}_{\text{total}} - \text{Nm}$ no resíduo em cada data de avaliação, onde $\text{N}_{\text{total}} = \text{N total adicionado via resíduo}$ (mg de N kg^{-1}) e Nm foi obtido pelo ajuste

do modelo Stanford & Smith (1972) (mg de N kg^{-1}), conforme descrito acima. O modelo empregado, proposto por Stanford & Smith (1972), considera apenas uma fração do N orgânico (N_{org}) do solo que é potencialmente mineralizável e o processo de mineralização segue uma cinética de primeira ordem, sendo definido pela equação exponencial simples, $N_m = N_o (1 - e^{-kt})$, onde: N_m = N mineralizado acumulado em um período de tempo (mg de N kg^{-1}); N_o = potencial de mineralização do N (mg de N kg^{-1}); k = constante de mineralização (dia^{-1}) e t = o tempo (dias). A redução do N_o , função da mineralização ($N_o - N_m$) em cada evento foi determinada com os dados obtidos ajustados no modelo proposto por Stanford & Smith (1972). Os resultados obtidos ao longo do período de incubação no mesmo tratamento foram submetidos à análise de variância e, quando foram significativos, foi realizada a análise de regressão utilizando equação polinomial, com um nível de significância de 5% de erro. Além disso, os dados obtidos em cada época de coleta do solo durante a incubação entre os tratamentos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 5\%$).

2.4. Resultados e Discussão

Os teores de N-NH_4^+ , N-NO_3^- , N-mineral, N-mineral líquido e N-mineralizado no solo, apresentaram efeito significativo entre os tratamentos; solo, aveia preta, centeio, nabo-forrageiro, aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro, bem como entre os dias após a incubação (DAI) e interação entre os tratamentos e DAI (Tabela 2).

O teor de N-NH_4^+ no solo diminuiu de forma quadrática ao longo dos dias de incubação em todos os tratamentos sem a deposição de resíduo no solo e com a deposição de resíduo de aveia preta, centeio, nabo-forrageiro, aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro (Figura 1A). Os teores de N-NH_4^+ no tempo zero foram maiores no solo com a deposição de resíduos de nabo-forrageiro, comparativamente ao solo com a adição de resíduos de aveia preta+nabo-forrageiro, aveia preta e solo sem resíduos. Entretanto, os teores de N-NH_4^+ no solo com resíduos de nabo-forrageiro foram iguais aos verificados no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro e centeio. Aos 18 DAI os teores de N-NH_4^+ no solo com a deposição de nabo-forrageiro foram maiores que os observados no solo com a adição de aveia preta e do solo sem resíduos. Porém, os teores de N-NH_4^+ no solo com a deposição de

resíduos de nabo-forrageiro não diferiram estatisticamente daqueles verificados no solo com a adição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro, centeio e aveia preta+nabo forrageiro. Aos 36 DAI, o solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro apresentou maiores teores de N-NH_4^+ , comparativamente ao observado no solo com a adição de resíduos de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro, centeio, aveia preta e solo sem resíduos. Aos 54 DAI os teores de N-NH_4^+ verificados no solo com a deposição de resíduos de nabo-forrageiro foram maiores que os observados no solo com a deposição de aveia preta+nabo-forrageiro, centeio, aveia preta e solo sem resíduos. Contudo os teores de N-NH_4^+ no solo com a adição de resíduos de nabo-forrageiro foram semelhante ao verificado no solo com a adição de centeio+nabo-forrageiro. Os teores de N-NH_4^+ aos 72 DAI do solo com a deposição de resíduos de nabo-forrageiro foram maiores que os verificados no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, aveia preta+nabo-forrageiro, centeio, aveia preta e solo sem resíduos. Aos 90 DAI os teores de N-NH_4^+ no solo com a deposição de nabo-forrageiro foram maiores que os observados no solo com a deposição de aveia preta e solo sem resíduos. Porém, o teor de N-NH_4^+ no solo com a adição de resíduos de nabo-forrageiro foi semelhante ao verificado no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, centeio e aveia preta+nabo-forrageiro.

O teor de N-NO_3^- aumentou de forma quadrática no solo ao longo dos dias de incubação (Figura 1B). Os teores de N-NO_3^- no solo no tempo zero foram semelhantes em todos os tratamentos. Aos 18 DAI os teores de N-NO_3^- no solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro foram maiores que os observados no solo com a deposição de resíduos de aveia preta+nabo-forrageiro, aveia preta e solo sem resíduos (Figura 1B). Porém, os teores de N-NO_3^- no solo com resíduos de centeio+nabo-forrageiro foram semelhantes aos verificados no solo com a deposição de apenas nabo-forrageiro e centeio. Já aos 36 DAI o solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro apresentou os maiores teores de N-NO_3^- . Nesta mesma coleta, aos 36 dias, o solo que recebeu os resíduos de centeio, nabo-forrageiro e aveia preta+nabo-forrageiro não diferiu entre si, porém foram observados teores de N-NO_3^- mais elevados que o verificado no solo com deposição de aveia preta e sem adição de resíduos.

Os maiores teores de N-NO_3^- no solo, após 54 e 72 dias de incubação foram verificados no solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro, comparativamente ao solo dos tratamentos

com deposição de resíduos de aveia preta e do tratamento sem deposição de resíduos (Figura 1B). Porém, os teores foram semelhantes quando comparados ao solo dos tratamentos com a deposição de resíduos de nabo-forrageiro, centeio e aveia preta+nabo-forrageiro. Já aos 90 DAI os teores de N-NO_3^- no solo foram maiores no tratamento com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, comparativamente aos teores verificados no tratamento com a adição de resíduos de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro, centeio, aveia preta e do solo sem a deposição de resíduos.

O teor de N-mineral aumentou de forma quadrática no solo ao longo dos dias de incubação (Figura 1C). Os teores de N-mineral no solo no tempo zero foram maiores no tratamento com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro, comparativamente aos verificados no tratamento com a deposição de nabo-forrageiro, aveia preta+nabo-forrageiro, centeio, aveia preta e solo sem resíduos (Figura 1C). Aos 18, 36 e 54 DAI os maiores teores de N-mineral no solo foram observados nos tratamentos com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro, em comparação com os tratamentos com a deposição de aveia preta e solo sem resíduos. Entretanto, os teores de N-mineral no solo com a adição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro foram semelhantes aos verificados nos tratamentos com a adição de aveia preta+nabo-forrageiro e nabo-forrageiro e centeio. Aos 72 DAI os teores de N-mineral no solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro foram maiores que os observados nos tratamentos com os resíduos de aveia preta e solo sem resíduos. Contudo, os teores de N-mineral no solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro não diferiram estatisticamente daqueles verificados no solo dos tratamentos com a adição de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro e centeio. Aos 90 DAI os teores de N-mineral no solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro foram maiores que os verificados no solo sem a deposição de resíduos. Porém, os teores de N-mineral no solo com resíduos de centeio+nabo-forrageiro foram semelhantes aos verificados no tratamento com a deposição de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro, centeio e aveia preta.

Os maiores teores de N-NH_4^+ no solo com a deposição de resíduos de nabo-forrageiro, por exemplo, aos 18 DAI, comparativamente ao solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, aveia preta+nabo-forrageiro, centeio, aveia preta e solo sem resíduos, pode ser explicado provavelmente ao seu teor de N total, que proporciona menor valor de relação C/N, mas também aos menores

valores de lignina (Tabela 1), que conferem rápida decomposição dos resíduos e, por consequência, mineralização de N para o solo, o que pode incrementar os teores de N-NH_4^+ (Janssens et al., 2010). A diminuição dos teores de N-NH_4^+ ao longo do tempo em todos os tratamentos, com exceção daquele sem deposição de resíduos, pode se atribuído, especialmente, a nitrificação do N-NH_4^+ por microrganismos nitrificadores (Geisseler et al., 2009), que causou o aumento dos teores de N-NO_3^- no solo (Figura 1B).

Os maiores teores de N-NO_3^- e N-mineral no solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro na maioria das coletas, pode ser explicado, provavelmente, à relação C/N do consórcio que foi de 16,31 (Tabela 1), que é menor que 20 e, por isso, estimula a mineralização (Azan et al., 1993; Chaves et al., 2004). Resultados similares foram obtidos por Neve et al. (2004), que relatam, em um experimento de incubação com a adição de resíduos de plantas no solo, que a maior mineralização de N aconteceu no solo dos tratamentos com a deposição de resíduos com menor relação C/N. No entanto, convém relatar que a maior mineralização de N no solo com a adição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro também pode ser explicada, mesmo que em parte, aos valores de celulose e lignina, que proporcionaram um dos menores valores de relação celulose/lignina (Tabela 1). De acordo com Sanchez (2009), a lignina se liga a celulose e a hemicelulose, formando uma barreira física na parede celular vegetal, promovendo resistência ao ataque microbiano e em baixos valores de relação celulose/lignina, a decomposição de resíduos e, por consequência, a mineralização de nutrientes acontece com maior rapidez, concordando com os resultados de Sainju et al. (2007). Convém ressaltar que os menores teores de N-NO_3^- e N-mineral no solo, especialmente nas últimas datas de coleta (72 e 90 DAI), foram obtidos no solo com a adição de resíduos de aveia preta e isto pode ser atribuído, provavelmente, à imobilização de formas de N (Vargas et al., 2005). Isso porque, os teores de N-NO_3^- e N-mineral foram menores que os observados no solo sem a deposição de resíduos e a aveia preta possuía relação C/N de 22,36 (Tabela 1) (Chaves et al., 2004).

Os teores de N-mineral líquido (N_{liq}) no tempo zero não apresentaram diferença estatística nos solos com e sem a deposição de resíduos (Figura 2A). Aos 18, 36 e 54 DAI os maiores teores de N_{liq} foram verificados nos solos com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro, comparativamente ao solo com a adição de aveia preta e solo sem resíduos. Entretanto, os teores de N_{liq} no solo com

resíduos de centeio+nabo-forrageiro não diferiram estatisticamente daqueles verificados no solo com a adição de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro e centeio. Aos 72 DAI os teores de N_{liq} nos solos com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro foram maiores que os observados nos solos com a deposição de resíduos de aveia preta e solo sem resíduos. Contudo, os teores de N_{liq} no solo com resíduos de centeio+nabo-forrageiro foram semelhantes aos verificados no solo com a adição de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro e centeio. Aos 90 DAI os teores de N_{liq} no solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo forrageiro foram maiores que os verificados no solo sem a deposição de resíduos. Porém, os teores de N_{liq} no solo com resíduos de centeio+nabo-forrageiro foram semelhantes aos observados no solo com a adição de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro, centeio e aveia preta. Em todas as datas avaliadas o solo com a deposição de resíduos de centeio, nabo forrageiro, aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro, os valores de N_{liq} aumentaram no decorrer do tempo, indicando a mineralização de N (Aita et al., 2004). Porém, o N_{liq} no solo com a deposição de aveia preta aos 18 e 72 DAI verificou-se a diminuição em relação aos valores iniciais, o que indica a imobilização de N (Souza et al., 2011; Fioreze et al., 2012) e, provavelmente, pode ser explicada em parte ao valor de relação C/N do tecido que foi de 22,36 (Tabela 1).

No início da decomposição, especialmente nas espécies com maiores valores de relação C/N como, por exemplo, no presente estudo a aveia preta, ocorreu um pico de imobilização pelo microrganismos (imobilização maior que a mineralização), o que provocou o consumo de formas de N-mineral do solo, derivadas da decomposição de resíduos e da matéria orgânica (Heinrichs et al., 2001). Assim, a imobilização microbiana de formas de N reduz a disponibilidade do nutriente para às plantas, como, por exemplo, a cebola. Porém, com o passar do tempo ocorre o restabelecimento gradativo das transformações que acontecem no solo (imobilização igual à mineralização) e, a partir deste momento, os processos de transformação começam a liberar as formas de N, ora imobilizado, para a solução do solo. No entanto, convém ressaltar que a imobilização de N também pode estar associada ao valor de lignina do resíduo e até a relação celulose/lignina (Rasse et al., 2006; Heim & Schmidt, 2007; Sanchez, 2009). Isso porque, os microrganismos possuem menor capacidade de colonização de resíduos com maiores teores de lignina, o que diminui a liberação de N, aumentando a quantidade

imobilizada, tanto que a relação lignina/N possui correlação negativa com a mineralização de N (Vanlauwe et al., 2005).

No tempo zero, os teores de N-mineralizado (N_m) no solo com e sem a deposição de resíduos não apresentaram diferença estatística (Figura 2B). Aos 18 DAI o maior teor de N_m foi verificado no solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro, comparativamente ao observado no solo com a adição de aveia preta+nabo-forrageiro, aveia preta e solo sem resíduos. Entretanto, o teor de N_m no solo com resíduos de centeio+nabo-forrageiro não diferiu estatisticamente daquele observado no solo com a adição de centeio e nabo-forrageiro. Aos 36, 54, 72 e 90 DAI os teores de N_m no solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro foram maiores que os observados no solo com a deposição de resíduos de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro, centeio, aveia preta e no solo sem a deposição de resíduos. Porém, os teores de N_m no solo com resíduos de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro e centeio foram semelhantes (Figura 2B).

O modelo exponencial simples proposto por Stanford & Smith (1972) (Figura 2B) ajustou adequadamente os resultados de N_m , em geral, similares aos de N_{min} no tempo zero e aos 18, 36, 54 e 72 DAI e estimou valores de N_o similares ao N_{min} aos 90 dias (Figura 1C). Esses resultados concordam com os obtidos por Camargo et al. (1997), que em 10 solos representativos do Rio Grande do Sul e incubados durante 224 dias sem aplicação de N, relatam que o modelo estimou adequadamente os valores de N_o , com os valores de N_o ligeiramente inferiores aos de N_{min} acumulado aos 224 dias. O valor de N_o foi maior no solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro (159,54 mg de N kg⁻¹) em relação aos tratamentos com resíduos de aveia preta+nabo-forrageiro (131,58 mg de N kg⁻¹), centeio (104,95 mg de N kg⁻¹), nabo-forrageiro (102,96 mg de N kg⁻¹), aveia preta (75,06 mg de N kg⁻¹) e solo sem resíduos (26,92 mg de N kg⁻¹). Esse comportamento pode ser atribuído ao consórcio utilizado no tratamento centeio+nabo forrageiro, que causou aumento do teor de N total no tecido (1,77) e diminuiu os valores da relação C/N (16,33) (Cabrera et al., 2005) (Tabela 1).

O solo com a deposição de aveia preta, aveia preta+nabo-forrageiro, centeio+nabo-forrageiro, centeio, nabo-forrageiro e sem a deposição de resíduos apresentaram k de 0,0184; 0,0212; 0,0388; 0,0576 0,0578 e 0,1130, respectivamente (Figura 2B). Os maiores valores de k no solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo forrageiro pode ser atribuído ao consórcio o que promoveu um aumento teor de N total e diminuiu a relação C/N, também pode ser explicada, mesmo que em

parte, aos valores de celulose e lignina, que proporcionaram um dos menores valores de relação celulose/lignina (Tabela 1). A variação dos valores de k sugere que os solos podem diferir não somente com relação à fração de N orgânico ativo, mas também em relação ao *turnover* microbiano (Benbi & Richer, 2002). Entretanto, é importante ressaltar que essas variações podem ser decorrentes tanto do método de incubação utilizado, como também das diferenças entre os modelos matemáticos adotados (Camargo et al., 2002; Silva et al., 2008).

Ao longo do período de incubação dos resíduos de espécies de plantas de cobertura solteiras e consorciadas depositados sobre a superfície do solo, que correspondeu do transplante até a bulbificação da cebola, observou-se, especialmente, no solo com resíduos de centeio, nabo-forrageiro, aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro aumento da disponibilidade de N-mineral, em especial, por causa do aumento dos teores de N-NO_3^- , que foram em todos os dias de incubação maiores que os teores de N-NH_4^+ . Mas, os maiores teores de N-mineral foram verificados no solo com a deposição do consórcio de centeio+nabo-forrageiro, que apresentaram, especialmente, valores intermediários de lignina e relação C/N, em relação aos tratamentos aveia preta, centeio, aveia preta+nabo-forrageiro. Assim, se espera que cebolas cultivadas em solos com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro possuam maior disponibilidade de N, o que pode afetar positivamente o crescimento e a produção (Souza et al., 2013). Além disso, a maior disponibilidade de N no solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro foi reforçada pelos maiores valores de N_{liq} e N-mineralizado, o que representa maior mineralização de N. Somado a isso, também no solo com resíduos de centeio+nabo-forrageiro verificou-se os maiores valores de potencial de mineralização de N, definido como a fração do N orgânico suscetível à mineralização (Stanford & Smith, 1972).

2.5. Conclusões

1- Os maiores teores de amônio, ao longo do experimento, que correspondeu do transplante até a bulbificação da cebola foram observados no solo com a deposição de resíduos de nabo-forrageiro e do consórcio centeio+nabo-forrageiro.

2- Os maiores teores de nitrato e N-mineral dos 36 até os 90 DAI, e de N-mineralizado dos 18 até os 92 DAI foram observados no solo com a deposição de resíduos de centeio+nabo-forrageiro, correspondente aos estágios de transplante até a bulbificação da cebola.

- 3- A taxa de mineralização foi positiva em todas as datas de coleta do solo com deposição de resíduos de centeio, nabo-forrageiro e dos consórcios aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro. Mas, no solo com a deposição de resíduos de aveia preta os valores de N-líquido foram negativos aos 18 e 72 DAI, indicando imobilização de N.
- 4- Os resíduos de nabo-forrageiro e o consorcio centeio+nabo-forrageiro apresentaram o maior potencial de mineralização, conferindo maior disponibilidade de N para cebola ao longo do seu ciclo.

Agradecimentos

A FAPESC, ao CNPq e à Capes pelas bolsas concedidas e recursos financeiros disponibilizados. Ao CNPq a bolsa de produtividade em pesquisa concedida ao quarto, quinto e décimo autor. À Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (Epagri), em Ituporanga (SC), pela disponibilidade da área experimental.

2.6. Referências

- Aita C, Giacomini SJ, Hübner AP, Chiapinotto IC & Fries MR (2004) Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I - dinâmica do nitrogênio no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:739-749.
- Azam F, Smith DC, Steward GF & Hagström Å (1993) Bacteria-organic matter coupling and its significance for oceanic carbon cycling. *Microbial Ecology*, 28:167-179.
- Benbi D & Richer J (2002) A critical review of some approaches to modeling nitrogen mineralization. *Biol. Fert. Soils*, 35:168-183.
- Bonanomi G, Incerti G, Giannino F, Mingo A, Lanzotti V & Mazzoleni S (2013) Litter quality assessed by solid state ¹³C NMR spectroscopy predicts decay rate better than C/N and Lignin/N ratios. *Soil Biology & Biochemistry*, 56:40-48.
- Brunetto G, Gatiboni LC, Rheinheimer DS, Saggin A & Kaminski J (2005) Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um argissolo sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:565-571.
- Cabrera ML, Kissel DE & Vigil MF (2005) Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities. *Journal Environment Quality*, 34:75-79.

- Camargo FAO, Gianello C & Vidor C (1997) Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:575-579.
- Camargo FAO, Gianello C, Tedesco MJ, Riboldi J, Meurer EJ & Bissani CA (2002) Empirical models to predict soil nitrogen mineralization. *Ci. Rural*, 12:393-399.
- Chaves B, De Neve S, Hofman G, Pascal B & Cleemput OV (2004) Nitrogen mineralization of vegetable root residues and green manures as related to their (bio) chemical composition. *European Journal of Agronomy*, 21:161-170.
- Dilly O, Blume HP & Munch JC (2003) Soil microbial activities in Luvisols and Anthrosols during 9 years of region-typical tillage and fertilization practices in Northern Germany. *Biogeochemistry*, 65:284–299.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2006) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 412p.
- Epagri. Recomendação de cultivares para o Estado de Santa Catarina 2012. Florianópolis: 2012. 142p. (EPAGRI. Boletim Técnico, 72).
- Fioreze C, Ceretta CA, Giacomini SJ, Trentin G & Lorensini F (2012) Liberação do N em solos de diferentes texturas com ou sem adubos orgânicos. *Ciência Rural*. 42:1187-1192.
- Flower KN, Cordingley PR, Warda C & Weeksd (2012) Nitrogen, weed management and economics with cover crops in conservation agriculture in a Mediterranean climate. *Field Crops Research* 132:63-75.
- Gandin C.L, Thomazelli LF & Guimarães DR (2002) Estádios de desenvolvimento da cebola. *Agropecuária Catarinense*, 15:53-56.
- Geisseler D, Horwath WR & Doane TA (2009) Significance of organic nitrogen uptake from plant residues by soil microorganisms as affected by carbon and nitrogen availability. *Soil Biology & Biochemistry*, 41:1281–1288.
- Giacomini SJ, Aita C, Miola ECC & Recous S (2008) Mineralização do carbono da palha de aveia e dejetos de suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 32:2661-2668.
- Giacomini SJ. (2005) Avaliação e modelização da dinâmica de carbono e nitrogênio com o uso de dejetos de suínos. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 240p.
- Heim A & Schmidt MWI (2007) Lignin turnover in arable soil and grassland analysed with two different labelling approaches. *European Journal of Soil Science*, 58:599-608.

- Heinrichs R, Aita C, Amado TJC & Fancelli AL (2001) Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:331-340.
- Janssens IA, Dieleman W, Luyssaert S, Subke JA, Reichstein M, Ceulemans R, Ciais P, Dolman AJ, Grace J & Matteucci G (2010) Reduction of forest soil respiration in response to nitrogen deposition. *Nature Geoscience* 3:315-322.
- Joannis GD, Bradley RL & Preston CM (2008) Do late-successional tannin-rich plant communities occurring on highly acidic soils increase the DON/DIN ratio? *Biology and Fertility of Soils*, 44:903-907.
- Månsson, K.F. & Falkengren-Grerup, U (2003) The effect of nitrogen deposition on nitrification, carbon and nitrogen mineralisation and litter C:N ratios in oak (*Quercus robur* L.) forests. *Forest Ecology and Management*, 179:455-467.
- Meier EA, Thorburn PJ, Wegener MK & Basford KE (2006) The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Queensland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 75:101-114.
- Mohanty M, Reddy KS, Probert ME, Dalala RC, Raob AS & Modelling NWM (2011) N mineralization from green manure and farmyard manure from a laboratory incubation study. *Ecological Modelling*, 222:719-726.
- Neve SD, Sáez SG, Daguila BC, Sleutel S & Hofman G (2004) Manipulating N mineralization from high N crop residues using on- and off-farm organic materials. *Soil Biology & Biochemistry*, 36:127-134.
- Rasse DP, Dignac MF, Bahri H, Rumpel CA, Mariotti A & Chenu C (2006) Lignin turnover in an agricultural field: from plant residues to soil protected fractions. *European Journal of Soil Science*, 57:530-538.
- Sá JCM, Cerri CC, Lal R, Dick WA, Venzke filho SP, Piccol OM & Feigl B (2001) Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of American Journal*, 65:1486-1499.
- Sainju UM, Schomberg HH, Singh BP, Whitehead WF, Tillman PG & Lachnicht-Weyers SL (2007) Cover crop effect on soil carbon fractions under conservation tillage cotton. *Soil Tillage Research*, 96:205-218.
- Sanchez C (2009) Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances*, 27:185-194.
- Séguy L, Bouzinac S & Husson O (2006) Direct-Seeded tropical soil systems with permanent soil cover: learning from Brazilian experience.

In Uphoff N (ed.) Biological approaches to sustainable soil systems. Taylor and Francis Group, Boca Raton, p.323-342.

Silva EC, Muraoka T, Espinal FSC, Trivelin PCO & Buzetti S (2008) Utilização do nitrogênio da palha de milho e de adubos verdes pela cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:2853-2861.

Souza HÁ, Natale W, Modesto VC & Rozane DE (2011) Mineralização do nitrogênio proveniente da aplicação do resíduo da indústria processadora de goiabas em Argissolo. *Bragantia*, 70:882-887.

Souza M, Comin JJ, Leguizamón ES, Kurtz C, Brunetto G, Júnior VM, Ventura B & Camargo AP (2013) Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. *Ciência Rural*, 43:21-27.

Stanford G & Smith S (1972) Nitrogen Mineralization Potentials of Soils. *Soil Science Society American Journal*, 36:465-472.

Sylvia D, Fuhrmann J, Hartel P & Zuberer D (2004) Principles and Applications of Soil Microbiology, 2^o ed. New Jersey Prentice Hall. 672p.

Tedesco M.J, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H. & Volkweiss SJ (1995) Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. (Boletim Técnico,5).

Thorpe AS, Aschewhug ET, Atwater DZ & Callaway RM (2011) Interactions among plants and evolution. *Journal of Ecology* 99:729-740.

Trinsoutrot I, Recous S, Bentz B, Linères D, Chèneby D & Nicolardot B (2000) Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. *Soil Science Society American Journal*, 64:918-926.

Vahdat E, Nourbakhsh F & Basiri M (2011) Lignin content of range plant residues controls N mineralization in soil. *European Journal of Soil Biology* 47:243-246.

Vanlauwe B, Gachengo K, Shepherd E, Barrios G, Cadisch G & Palm CA (2005) Laboratory validation of a resource quality-based conceptual framework for organic matter management. *Soil Science Society of America Journal*, 69:1135-1145.

Vanlauwe B, Gachengo K, Shepherd E, Barrios G, Cadisch G & Palm CA (2005) Laboratory validation of a resource quality-based conceptual framework for organic matter management. *Soil Science Society of America Journal*, 69:1135-1145.

Vargas LK, Selbach PA & Saccol de Sá EL (2005) Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. *Ciência Rural*, 35:76-83.

Tabela 1. Características químicas e bioquímicas dos resíduos de espécies de plantas de cobertura usados na incubação.

Componentes da planta	Aveia preta	Centeio	Nabo- forrageiro	Aveia preta+nabo- forrageiro	Centeio+nabo- forrageiro
Celulose, % ⁽¹⁾	65,28	46,24	77,10	70,00	59,00
Lignina, % ⁽¹⁾	34,72	53,76	22,90	29,99	41,99
Relação celulose/lignina	1,88	0,86	3,36	2,33	1,40
Carbono orgânico total, % ⁽²⁾	34,66	34,90	33,48	32,56	28,88
N total, % ⁽²⁾	1,55	1,33	2,46	1,91	1,77
Relação lignina/N	22,4	40,42	9,30	15,70	23,72
Relação C/N	22,36	26,24	13,60	17,04	16,31
Cálcio total, % ⁽²⁾	0,16	0,13	0,68	0,36	0,35
Magnésio total, % ⁽²⁾	0,15	0,11	0,09	0,12	0,1
Potássio total, % ⁽²⁾	1,05	0,85	0,76	0,95	0,81
Fósforo total, % ⁽²⁾	0,33	0,27	0,51	0,39	0,36

⁽¹⁾ Segundo metodologia proposta por Aber & Martin (1999). ⁽²⁾ De acordo com metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

Tabela 2. Resumo da ANOVA dos efeitos dos tratamentos e dias após a incubação (DAI).

	Grau de liberdade	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-mineral	N-mineral líquido	N-mineralizado
Tratamento	5	0,00004	<0,00000	<0,00000	<0,00000	<0,00000
DAI ⁽¹⁾	5	<0,00000	<0,00000	<0,00000	<0,00000	<0,00000
Tratamento x DAI	25	<0,00000	<0,00000	<0,00000	<0,00000	<0,00000

⁽¹⁾DAI = Dias após a incubação. Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade estão em negrito.

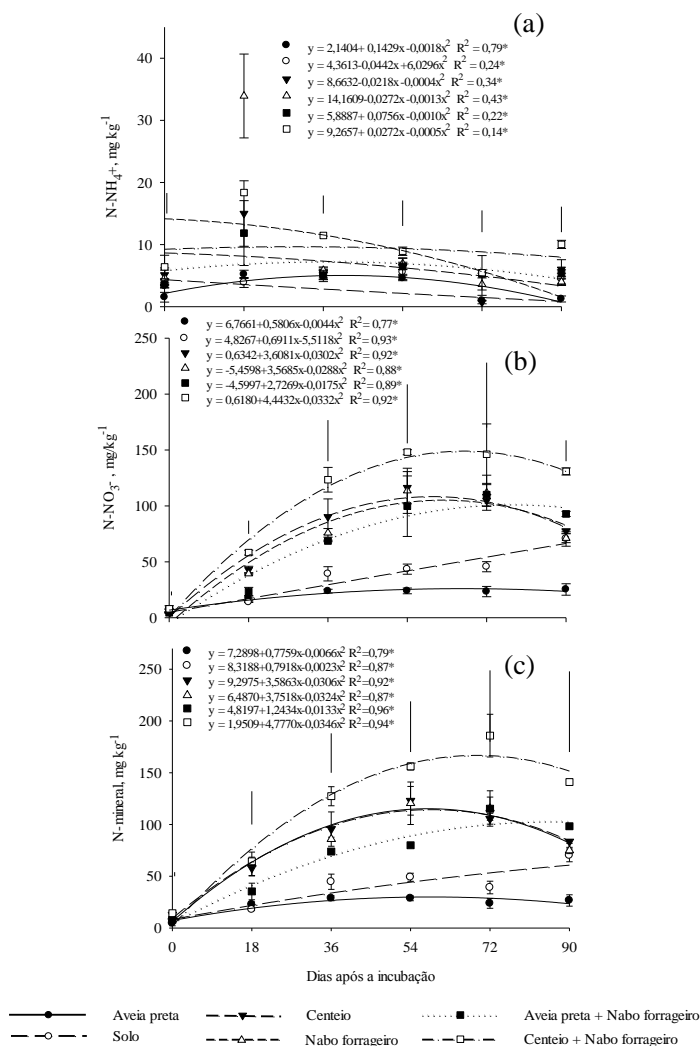


Figura 1. Teores de $N-NH_4^+$ (a), $N-NO_3^-$ (b) e N-mineral (c) ($mg\ kg^{-1}$) no solo durante a sua incubação com a deposição de resíduos de aveia preta, centeio e nabo-forrageiro, solteiros e consorciados. (* = Significativo a 5% de probabilidade; As barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5%).

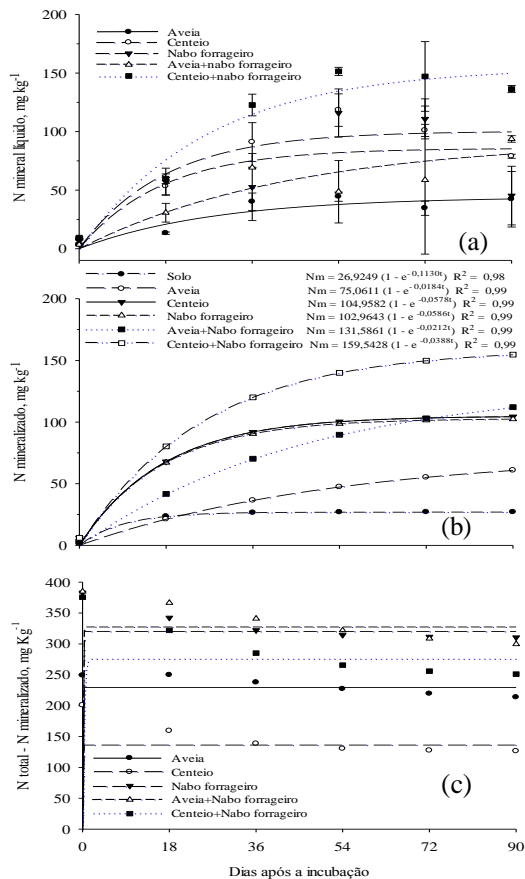


Figura 2. Teores de N mineral líquido (a), N mineralizado (b) e N total-N mineralizado (c) (mg kg⁻¹) no solo com e sem deposição de resíduos durante a incubação (*= Significativo a 5% de probabilidade; As barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5%).

3 DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DE RESÍDUOS DE PLANTAS DE COBERTURA EM SOLO CULTIVADO COM CEBOLA

3.1. Resumo

Em sistema plantio direto (SPD) de cebola significativa quantidade de carbono (C) e nutrientes podem retornar anualmente ao solo durante a decomposição de resíduos de espécies de plantas de cobertura do solo. O trabalho objetivou avaliar a decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de espécies de plantas de cobertura solteiras e consorciadas, em um solo cultivado com cebola. O experimento foi realizado na área experimental da Epagri, em Ituporanga (SC), em um solo Cambissolo Húmico. Em julho de 2011, a parte aérea de aveia preta (AV), centeio (CE), nabo-forrageiro (NF), aveia preta+nabo-forrageiro (AV+NF) e centeio+nabo-forrageiro (CE+NF) foi cortada rente à superfície do solo e adicionada em bolsas de decomposição. As bolsas foram depositadas na superfície do solo e no tempo 0, 18, 36, 54, 72, 90 e 108 dias depois da deposição, as bolsas foram coletadas, os resíduos foram lavados, secos, quantificado a matéria seca, moídos e submetidos à análise de lignina, celulose e teores totais de C, N, P, K, Ca e Mg. O cultivo solteiro, especialmente, de CE provocou maior permanência de resíduos na superfície do solo ao longo do ciclo da cebola, o que aumenta a sua proteção. Mas, o cultivo solteiro de NF causou a menor permanência de resíduos na superfície do solo e maior liberação, em especial, de C, N, P e K. O cultivo consorciado de AV+NF e CE+NF provocou uma liberação, até os 108 dias após a deposição dos resíduos na superfície do solo, especialmente, de N, P e K, similar ao cultivo solteiro de AV e CE. A relação C/N pode não ser adequada, isoladamente, para a predição da decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de espécies de plantas de cobertura do solo, solteiras e consorciadas, em decomposição na superfície do solo, que apresentam valores de C/N baixos e semelhantes entre si, sendo os teores de celulose, lignina e os valores de relação celulose/lignina, lignina/N e lignina/P mais adequados.

Termos para indexação: *Avena sativa* L, *Secale cereale* L, *Raphanus sativus*, ciclagem de nutrientes, *Allium cepa* L.

SUMMARY: DECOMPOSITION AND RELEASE OF NUTRIENTS FROM COVER CROP RESIDUES IN SOIL PLANTED TO ONIONS

In no-till system for onions (*Allium cepa* L.), a significant quantity of carbon (C) and nutrients can be returned to the soil annually during decomposition of residues from cover crop species. This paper was carried to evaluate the decomposition and release of nutrients from cover crop species alone and in combination in a soil planted to onions. The experiment was carried in an experimental area of Epagri in Ituporanga, SC, Brazil in a Haplumbrept soil. In July 2011, the above ground part of black oats, rye, oilseed radish, black oats+oilseed radish and rye+oilseed radish was cut off at ground level and added to litter bags. The bags were deposited on the soil surface and at the time of 0, 18, 36, 54, 72, 90 and 108 days after deposition, the bags were collected, the residues were washed, dried, their dry matter was quantified, ground and subjected to analysis of lignin, cellulose and C, N, P, K, Ca and Mg content. Single cultivation, especially of rye, has caused higher permanency of residues on the soil surface during the onion cycle, which increases its protection. But the oilseed radish single cultivation has caused the lower permanency of residues on the soil surface and a higher liberation especially of carbon, nitrogen, phosphorus, and potassium. Until 180 days after the deposition of the residues on the soil surface, the combined cultivation of black oat+oilseed radish and rye+oilseed radish has especially caused a liberation of nitrogen, phosphorus, and potassium, similar to the single oat and rye cultivation. For itself the relation C/N cannot be appropriate to predict the decomposition and liberation of nutrients from residues of cover crop specimens, single and in combination, in decomposition on the soil surfaces that present low C/N values and similar among them, being the rates of cellulose, lignin, and the relation values of cellulose/lignin, lignin/N and lignin/P more appropriate.

Index terms: *Avena sativa* L, *Secale cereale* L, *Raphanus sativus*, nutrient cycling, *Allium cepa* L.

3.2. Introdução

A cebola (*Allium cepa* L.) na região Sul do Brasil normalmente é cultivada sob Sistema de Cultivo Convencional (SCC), onde é potencializada a perda de solo, água e nutrientes pela erosão hídrica. Mas, desde o início da década de 80, tem sido estimulada a adoção do Sistema Plantio Direto (SPD), onde espécies de plantas de cobertura da família das gramíneas, como a aveia preta (*Avena sativa* L.) e o centeio (*Secale cereale* L); e das crucíferas, especialmente o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*) são cultivadas solteiras ou consorciadas no outono/inverno (Souza et al., 2013). No final do inverno e início da primavera, a parte aérea das espécies de plantas de cobertura é depositada sobre a superfície do solo. Com isso, se espera maior proteção da superfície do solo contra o impacto da gota da chuva, o que diminui a erosão hídrica; menor incidência de plantas daninhas e maior armazenamento de água no perfil do solo (Mateus et al., 2004). Ao longo do ciclo da cebola os resíduos das espécies de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas depositados sobre a superfície do solo são decompostos. Os resultados de decomposição e mesmo de liberação de nutrientes de resíduos de plantas de cobertura do solo tem sido descritos por modelos matemáticos lineares (Crusciol et al., 2005), quadráticos (Pal & Broadbent, 1974), mas um dos mais utilizados tem sido o exponencial descrito por Wieder & Lang (1982) e utilizado em vários outros trabalhos

(Thomas & Asakawa, 1993; Torres et al., 2005; Boer et al., 2008; Teixeira et al., 2011).

Ao longo da decomposição de resíduos o carbono (C) orgânico é utilizado como fonte de energia pela população microbiana, sendo parte liberado na forma de CO₂ para a atmosfera. Parte dos nutrientes, como o nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) contidos nos resíduos são liberados para o solo, incrementando a disponibilidade e podem ser absorvidos pela cebola durante o seu ciclo. Porém, a decomposição dos resíduos e, por consequência, a liberação de nutrientes é dependente das condições edafoclimáticas, como temperatura, umidade, dos valores de pH e dos teores de oxigênio e nutrientes no solo (Cabrera et al., 2005); e da sua composição química, especialmente, dos teores de celulose, lignina e de relações, entre elas, C/N, lignina/N e lignina/P (Trinsoutrot et al., 2000; Giacomini et al., 2003; Carvalho et al., 2009; Matos et al., 2011; Marcelo et al., 2012). Em geral, resíduos com maior teor de lignina e valores de relação C/N, lignina/N e lignina/P, como aqueles da aveia preta e centeio são decompostos e liberam os nutrientes para o solo de forma mais lenta e gradual (Giacomini et al., 2003; Crusciol et al., 2008); comparativamente aqueles resíduos com menor teor de lignina, consequentemente, maior teor de celulose, menor valor de relação C/N, lignina/N e lignina/P, como do nabo-forrageiro, onde a decomposição e liberação de nutrientes é mais rápida e intensa (Rosolem et al., 2003; Crusciol et al., 2008). Mas, com o consórcio do nabo-forrageiro com uma gramínea, como a aveia preta ou o centeio, se espera obter valores intermediários de lignina, celulose e de relação C/N, lignina/N e lignina/P. Com isso, se espera manutenção de resíduos em quantidades adequadas na superfície do solo, mas também liberação gradual de nutrientes (Giacomini et al., 2003; Crusciol et al., 2005), o que pode aumentar o sincronismo entre a liberação de nutrientes, incrementos dos seus teores no solo e a absorção deles pela cebola (Souza et al., 2013).

Na região Sul do Brasil vários trabalhos já foram realizados para avaliar a decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de plantas de cobertura do solo, solteiras ou consorciadas, especialmente entre gramíneas e leguminosas, em SPD de culturas anuais de grão (Ceretta et al., 2002; Giacomini et al., 2003; Aita et al., 2004). Mas, trabalhos avaliando a decomposição e liberação de nutrientes de gramíneas e

crucíferas, solteiras e consorciadas, em SPD de cebola são escassos na literatura do Brasil. O presente trabalho objetivou avaliar a decomposição e a liberação de nutrientes de resíduos de espécies de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, em um solo cultivado com cebola.

3.3. Material e métodos

3.3.1. Localização da área experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido no período de julho a novembro de 2011, na área experimental da Empresa de Pesquisa e Extensão Agropecuária do estado de Santa Catarina (Epagri), em Ituporanga, região do Alto Vale do Itajaí (SC) (Latitude 27°22'S; Longitude 49°35'W e altitude de 475 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen é subtropical úmido (Cfa) (Peel et al., 2007), com temperatura média anual de 17,6°C e precipitação anual média de 1.400 mm (Epagri, 2012). Os dados climáticos obtidos durante a condução do experimento são apresentados na (Figura 1). O solo foi um Cambissolo Húmico (Embrapa, 2006) e na instalação do experimento, na camada de 0-10 cm, apresentava as seguintes características: 380 g kg⁻¹ de argila, 40 g kg⁻¹ de matéria orgânica, pH em água 6,0, Índice SMP 6,2; P disponível 26,6 mg kg⁻¹; K trocável 145,2 mg kg⁻¹ (extraídos por Mehlich 1); alumínio (Al) trocável 0,0 cmol_c kg⁻¹, Ca trocável 7,2 cmol_c kg⁻¹ e Mg trocável 3,4 cmol_c kg⁻¹ (extraídos por KCl 1 mol L⁻¹); capacidade de troca de cátions (CTC_{pH7,0}) 14,32 cmol_c kg⁻¹, saturação da CTC_{pH7,0} por bases (V) 76% e saturação da CTC_{efetiva} por alumínio (m) 3,4 cmol_c kg⁻¹.

Em abril de 2009, a área com histórico de cultivo de culturas anuais, sob SCC foi dessecada. Em seguida, foi aplicado calcário e incorporado, para elevar o pH em água até 6,5. Posteriormente, foram implantados os tratamentos com espécies de plantas de cobertura: Testemunha (plantas espontâneas), aveia preta (AV); centeio (CE); nabo-forrageiro (NF); aveia preta+nabo-forrageiro (AV+NF) e centeio+nabo-forrageiro (CE+NF). As plantas de cobertura foram semeadas a lanço sobre a superfície do solo, no início do mês de abril, nos anos de 2009 e 2010. A quantidade de semente utilizada por hectare foram os valores mais elevados da recomendação proposta por Monegat (1991) + 50%, garantindo assim uma boa produção de matéria seca

(MS). A proporção de sementes das espécies de inverno nos tratamentos CE+NF e AV+NF foram de 60 e 40% para gramínea e crucífera, respectivamente. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com oito repetições. Cada unidade experimental possuía 5 x 5 m (25 m²).

Em julho de 2009, todas as espécies de inverno foram acamadas com o auxílio de um rolo-faca, sendo os resíduos depositados sobre a superfície do solo. Em agosto de 2009 foi aplicado 200 kg ha⁻¹ de fosfato natural e 2,5 Mg ha⁻¹ de dejetos de aves sobre a superfície do solo e sem incorporação. Em seguida, com o uso de uma plantadeira de cebola foram abertas linhas com espaçamento de 0,50 m entre as entrelinhas. Posteriormente, mudas de cebola foram transplantadas manualmente nas linhas, com espaçamento entre plantas de 0,10 m. Cada parcela possuía 10 linhas de cebola, totalizando 500 plantas de cebola por parcela. Em abril de 2010, foi realizada a semeadura do segundo cultivo das espécies de plantas de cobertura, dos tratamentos AV, CE, NF, AV+NF e CE+NF. Em julho de 2010, estas espécies foram acamadas com o uso de um rolo-faca. Em agosto de 2010, foi novamente realizado o cultivo de cebola, seguindo o procedimento descrito anteriormente. Em abril de 2011, foi realizada a semeadura das espécies de plantas de cobertura de inverno dos tratamentos AV, CE, NF, AV+NF e CE+NF, como detalhado para os anos de 2009 e 2010.

3.3.2. Coleta da parte aérea das espécies de plantas de cobertura, preparo e deposição das bolsas de decomposição

Em 12 de julho de 2011, com o auxílio de um quadro metálico de 0,5 x 0,5 m (0,25 m²), a parte aérea das espécies de plantas de cobertura dos tratamentos AV, CE, NF, AV+NF e CE+NF foi cortada rente à superfície do solo. Foram coletadas três subamostras de massa verde (MV) em cada parcela. Após a coleta e nos tratamentos consorciados, manualmente, as espécies foram separadas, para estimar a contribuição de cada uma. Em seguida, a MV de todas as espécies foi seca em estufa com circulação de ar forçado à 65°C até peso constante. Logo depois, foi determinada a produção de MS. No dia 16 de julho de 2011, a parte aérea das espécies de plantas de cobertura de inverno solteiras e consorciadas remanescentes no campo foram cortadas rente à superfície do solo e reservadas. Em seguida, uma parte da MV da parte

aérea das plantas foi seca em estufa com ar forçado à temperatura de 65°C e, depois da secagem, a MS foi moída e reservada para a caracterização da composição química (Quadro 1). A segunda parte da MV foi homogeneizada, pesada e acondicionada em bolsas de decomposição com tela de nylon, com malha de 2 mm e dimensões de 0,40 x 0,40 m. Em cada bolsa de decomposição adicionou-se, em kg de MV: 2 de AV, 0,84 de CE, 0,74 de NF, 1,49 de AV+NF e 1,49 de CE+NF. Estas quantidades corresponderam a 139,52; 131,00; 134,84; 175,00 e 184,87 g bolsa⁻¹ de MS, para os tratamentos AV, CE, NF, AV+NF e CE+NF, respectivamente. Demais características químicas iniciais dos resíduos e quantidades de nutrientes adicionadas em cada tratamento são apresentadas no Quadro 1.

Em 16 de julho de 2011, as bolsas de decomposição foram depositadas sobre a superfície do solo e nas entrelinhas de plantio das cebolas. Dezoito bolsas de cada tratamento foram depositadas em conjunto, seis bolsas em cada entrelinha, em uma única repetição de cada tratamento, totalizando em todos os tratamentos 90 bolsas. As bolsas foram fixadas ao solo, usando barras de ferro, para evitar o possível deslocamento provocado pelo vento.

3.3.3. Coleta das bolsas de decomposição e análises dos resíduos

As bolsas de decomposição foram coletadas imediatamente depois da deposição na superfície do solo (tempo zero) e aos 18, 36, 54, 72, 90 e 108 dias após a deposição (DAD). Estas datas correspondem, aproximadamente, aos estágios fenológicos propostos por Rey et al. (1974): tempo zero- inicial, que compreende ao transplante e estabelecimento das mudas; 18 DAD- 3ª folha verdadeira, perda do cotilédone, 4ª folha verdadeira, pseudocaule com 5 a 8 mm; 36 DAD- 5ª, 6ª e 7ª folha verdadeira, seca da 1ª folha; 54 DAD- últimas folhas, formação da 8ª a 14ª folha, parte aérea completa; 72 DAD- bulbificação, engrossamento do bulbo, seca progressiva da 4ª, 5ª e 6ª folha; 90 DAD- estalo, fim da fase vegetativa, senescência da parte aérea e 108 DAD- cura, formação da película seca do pseudocaule.

Em cada data foram coletadas três bolsas de decomposição em cada tratamento. Em seguida, os resíduos foram retirados das bolsas. Logo depois, usando um pincel, foram retiradas partículas de solo aderidas aos resíduos. Imediatamente, os resíduos foram lavados com

água destilada e, em seguida, lavados com uma solução de HCl 0,1 mol L⁻¹ durante dois minutos e novamente lavados em água destilada. Em seguida, os resíduos foram secos em estufa com circulação de ar forçado à 65°C até peso constante e, logo depois, foram pesados para a determinação da MS. Posteriormente, os resíduos foram moídos em moinho do tipo Willey e reservados.

Os resíduos das espécies de plantas de cobertura reservados para a caracterização química e também os resíduos de cada data de coleta foram submetidos à análise de lignina e celulose, pelo método proposto por Aber & Martin (1999). Os teores totais de C, N, P, K, Ca e Mg foram determinados seguindo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

3.3.4. Análise estatística

Os resultados médios de MS, celulose, lignina e o teor total de N, C, P, K, Ca e Mg foram apresentados em percentagens no tecido com o respectivo desvio padrão. Além disso, foi calculada a percentagem remanescente, que se refere a quantidade inicial, em relação a quantidade na data de coleta. Os resultados de percentagem remanescente de cada variável foi ajustada pelo modelo matemático exponencial descrito por Wieder & Lang (1982) e utilizado por Thomas & Asakawa (1993), Torres et al. (2005), Boer et al. (2008) e Teixeira et al. (2011), $X = X_0 \exp(-kt)$ em que X= a quantidade de MS ou nutriente remanescente após um período de tempo t, em dias; X₀= a quantidade inicial de MS ou nutriente e k= a constante de decomposição. Com o valor de k foi calculado o tempo de meia-vida ($t^{1/2} = 0,693/k$) (Paul & Clark, 1989), que expressa o período de tempo necessário para que metade dos resíduos se decomponha ou para que metade dos nutrientes contidos nos resíduos seja liberado.

3.4. Resultados e Discussão

A dinâmica de perda de MS, C orgânico, lignina, celulose, N, P, K, Ca e Mg durante o período de deposição dos resíduos de AV, CE, NF, AV+NF e CE+NF na superfície do solo (tempo zero) até os 108 DAD, que correspondeu, aproximadamente, do estágio inicial

(transplante e estabelecimento das mudas) até a cura, formação da película seca do pseudocaule, foi descrita pelo modelo exponencial negativo (Quadro 3 e 4; Figura 2 e 3). Aos 108 DAD as maiores percentagens de MS remanescente, com média de 64% foram observadas nos resíduos de AV, CE e CE+NF, sendo os tempos de meia-vida ($t^{1/2}$) de 165, 223 e 169 dias, respectivamente (Figura 2a; Quadro 3). Mas, a menor percentagem de MS remanescente, aproximadamente, 17% foi verificada nos resíduos de NF, sendo o $t^{1/2}$ 50 dias. Esses resultados podem ser explicados em parte, pelo fato que os resíduos de gramíneas, como a AV, CE e mesmo o consórcio CE+NF apresentaram maiores teores de lignina e valores da relação lignina/N e lignina/P, e menores valores da relação celulose/lignina ao longo das coletas, em relação, por exemplo, aos resíduos solteiros de NF (Quadro 1 e 2). Em geral, resíduos com elevados valores de lignina, o que pode se refletir em maiores valores da relação celulose/lignina e lignina/N apresentam menor decomposição, porque a lignina tende a proteger mecanicamente a celulose da parede celular contra a degradação (Vanlauwe et al., 1997). Convém relatar também que normalmente, a decomposição de MS de tipos de resíduos depositados na superfície do solo é explicada em parte pela relação C/N (Isaac et al., 2000; Hadas et al., 2004). No presente trabalho, a relação C/N, por exemplo, nos resíduos de NF depositados na superfície do solo (tempo zero) foi de 13,60, menor que a relação C/N observada, especialmente, nos resíduos de AV e CE (Quadro 1). Resíduos com relação C/N menor que 20, como o do NF (Aita, 1997; Silva et al., 2008), comparativamente a aqueles com relação C/N maior que 20 são mais facilmente colonizados pela população microbiana, porque há mais N disponível para a constituição de seu tecido, o que aumenta a mineralização de componentes do resíduo e, por consequência, se reflete em menor MS remanescente (Chaves et al., 2004).

A maior percentagem de C remanescente aos 108 DAD foi observada nos resíduos de AV e CE, com média de 55%, sendo o $t^{1/2}$ de 121 e 177 dias, respectivamente (Figura 2b; Quadro 3). Porém, a menor percentagem de C remanescente nesta data, próximo de 14% foi verificada nos resíduos de NF, sendo o $t^{1/2}$ 46 dias. Tal fato pode ser explicado, em um primeiro momento, por causa das perdas de CO₂ para a atmosfera, consequência, da oxidação microbiana do C orgânico (Costa

et al.,2008). Mas também pela lixiviação de C orgânico solúvel, que rapidamente pode ser usado pela população microbiana (Cameiro et al., 2008), acelerando inclusive a decomposição dos resíduos. Em um segundo momento, pode ter ocorrido à degradação de compostos orgânicos recalcitrantes (Reinertsen et al., 1984).

Aos 108 DAD a maior percentagem de lignina remanescente próximo de 61% foi verificada nos resíduos de CE+NF, sendo o $t^{1/2}$ 147 dias (Figura 2c; Quadro 3). Mas, a menor percentagem de lignina remanescente, aproximadamente, 7,9% foi observada nos resíduos de NF, sendo o $t^{1/2}$ 35 dias. Já a celulose remanescente aos 108 DAD, apresentou suas maiores percentagens no resíduo de CE, com aproximadamente 93% da celulose ainda contida nos resíduos e apresentando $t^{1/2}$ de 231 dias (Figura 2d; Quadro 3). As menores percentagens de celulose remanescente são observadas nos resíduos de NF, com 22% e $t^{1/2}$ de 54 dias.

Aos 108 DAD a maior percentagem de N remanescente foi observada no resíduo de CE com, aproximadamente, 26% (Figura 3a), sendo o $t^{1/2}$ 61 dias (Quadro 4). Mas, a menor percentagem de N remanescente, aproximadamente, 2% foi verificada nos resíduos de NF, sendo o valor $t^{1/2}$ 24 dias. A baixa recuperação de N nos resíduos de NF e, por consequência, maior mineralização do nutriente, pode ser explicado em parte a rápida decomposição do resíduo na superfície do solo, dos seus menores teores de lignina, maiores valores da relação celulose/lignina e menores valores das relações lignina/N e lignina/P (Rosolem et al., 2003; Crusciol et al., 2008) (Quadro 2).

Aos 108 DAD a maior percentagem de P remanescente foi observada nos resíduos de AV, CE e CE+NF, com, aproximadamente, 27; 17 e 21%, respectivamente, sendo o $t^{1/2}$ 56; 47 e 52 dias, respectivamente (Figura 3b; Quadro 4) e a menor percentagem, aproximadamente, 2% foi verificada no resíduo de NF, onde o $t^{1/2}$ foi de 19 dias. Os resíduos de AV+NF apresentaram percentagens intermediárias de P remanescente. O P no tecido vegetal é encontrada no vacúolo da célula, especialmente, na forma de P inorgânico e monoésteres, que são solúveis em água (Giacomini et al., 2003) e, por isso, pode ser facilmente lixiviado dos resíduos durante precipitações, como aquelas verificadas com maior intensidade (Figura 1). O restante do P remanescente nos resíduos permanece em formas não solúveis em

água, como diésteres (ácidos nucleícos, fosfolipídios e fosfoproteínas), que são liberadas para solo depois da atuação da população microbiana (Frossard et al., 1995; Giacomini et al., 2003). Convém comentar que aos 108 DAD todos os tipos de resíduos, AV, CE, NF, AV+NF e CE+NF apresentaram percentagem de P remanescente menor que 40%, indicando liberação de, aproximadamente, mais de 60% do P contido nos resíduos para o solo. Giacomini et al.(2003), relatam 32% do P remanescente em resíduos de AV e 34% em resíduos de NF, depois de 180 dias da deposição deles na superfície do solo, , em um experimento realizado em SPD no RS.

Aos 108 DAD as percentagens de K remanescente não diferiram entre os resíduos de AV, CE, AV+NF, CE+NF e NF com média de 0,40%, sendo o $t^{1/2}$ de 15, 13, 14, 20 e 9, respectivamente (Figura 3c; Quadro 4). Os baixos teores de K remanescente aos 108 dias é provavelmente devido a fácil solubilidade deste elemento. O K é um cátion que não está associado a nenhum componente estrutural no tecido vegetal (Brunetto et al., 2005; Rosolem, et al., 2005; Boer et al., 2007) e, normalmente é encontrado na forma solúvel em resíduos de espécies de plantas de cobertura depositados na superfície do solo (Giacomini et al., 2003). Assim, o K pode ser facilmente lixiviado dos resíduos pela água das precipitações para o solo. A rápida liberação de K em resíduos de espécies de plantas de cobertura em decomposição sobre a superfície do solo, concorda com resultados de outros trabalhos já realizados em SPD (Rosolem et al., 2003, 2005; Crusciol et al., 2008).

Aos 108 DAD as percentagens de Ca remanescente não diferiram entre os resíduos de AV, CE, AV+NF, CE+NF e NF com média de, aproximadamente, 7%, sendo o $t^{1/2}$ 45, 59, 38, 25 e 28 dias (Figura 3d; Quadro 4). Aos 108 DAD foi observado nos resíduos de CE+NF os maiores teores de Mg remanescente, com, aproximadamente, 24% e $t^{1/2}$ de 56 dias. Nesta mesma data as menores percentagens de Mg remanescente foram observadas nos resíduos de NF, próximo de 6% e $t^{1/2}$ de 37 dias (Figura 3e; Quadro 4).

3.5. Conclusões

1- O cultivo solteiro, especialmente, de centeio provocou maior permanência de resíduos na superfície do solo ao longo do ciclo da cebola, o que aumenta a sua proteção. Mas, o cultivo solteiro de nabo-

forrageiro causou a menor permanência de resíduos na superfície do solo e maior liberação, em especial, de carbono, nitrogênio, fósforo e potássio.

2- O cultivo consorciado de aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro provocou uma liberação, até os 108 dias após a deposição dos resíduos na superfície do solo, especialmente, de nitrogênio, fósforo e potássio, similar ao cultivo solteiro de aveia e centeio.

3- A relação C/N pode não ser adequada, isoladamente, para predição da decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de espécies de plantas de cobertura do solo, solteiras e consorciadas, em decomposição na superfície do solo, que apresentam valores de C/N baixos e semelhantes entre si, sendo os teores de celulose, lignina e os valores de relação celulose/lignina, lignina/N e lignina/P mais adequados.

3.6. Literatura citada

ABER, J.D. & MARTIN, M. Leaf chemistry, 1992-1993 (ACCP). Oak Ridge National Laboratory, TN, USA, 1999.

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura e efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão **in**: Atualização em Adubação e calagem: ênfase em plantio direto. Santa Maria, UFSM/Departamento de Solos, 1997, p.76-111.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; HÜBNER, A.P.; CHIAPINOTTO, I.C. & FRIES, M.R. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I- dinâmica do nitrogênio no solo. R. Bras. Ci. Solo, 28:739-749, 2004.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; de; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.; CARGNELUTTI FILHO, A. & PIRES, F.R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro-Oeste do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 843:851-32, 2008.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A. & PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. Pesq Agrop Bras., 1269:1276-42, 2007.

BRUNETTO, G; GATIBONI, L.C; RHEINHEIMER, D.S; SAGGIN, A. & KAMINSKI, J. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 29:565-571, 2005.

CABRERA, M.L, KISSEL, D.E. & VIGIL, M.F. Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities. J. Environ. Qual., 34:75-79,2005.

CARNEIRO, M.A.C.; CORDEIRO,M.A.S.; ASSIS, P.C.R.; MORAES, E.S.; PEREIRA, H.S.; PAULINO,H.B. & SOUZA, E.D. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. Bragantia, 455:462-67, 2008.

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; PÍCCOLO, M.C.; GODINHO, V.P. & CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. Soil Till. Res., 342:349-32, 2009.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; FLECHA, A.M.T.; PAVINATO, P.S.; VIEIRA, F.C.B. & MAI, M.E.M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 26:163-171, 2002.

CHAVES, B.; DE NEVE, S.; HOFMAN, G.; PASCAL, B. & CLEEMPUT, O.V. Nitrogen mineralization of vegetable root residues and green manures as related to their (bio) chemical composition. Eur J Agron, 21:161-170, 2004.

CARNEIRO, M.A.C.; CORDEIRO, M.A.S.; ASSIS, P.C.R.; MORAES,E.S.; PEREIRA, H.S.; PAULINO,H.B. & SOUZA, E.D. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. Bragantia, 455:462-67, 2008.

CRUSCIOL, A.C.; MORO, E.; LIMA, V.E. & ANDREOTTI, M. Taxa de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. Bragantia, 481:489-32, 2008.

CRUSCIOL, A.C.; COTTICA, R.L; LIMA, E.V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E. & MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 40:161-168, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - CNPS. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa, 2006. 306p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL -Epagri. Recomendação de cultivares para o Estado de Santa Catarina 2012. Florianópolis: 2012. 142p. (EPAGRI. Boletim Técnico,72)

FROSSARD, E.; FROSSARD, M.; HEDLEY, M.J. & MATHERELL, A. Reactions controlling the cycling of P in soil. In: TIESSNM, H. (Org.). Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management. Chichester: J. Wiley, 107:146, 1995.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO E.R.O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.S. & FRIES, M.R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. R. Bras. Ci. Solo, 27:325-334, 2003.

HADAS, A.; KAUTSKY, L.; GOEKAND, M. & KARA, E.E. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. Soil Biol. Biochem, 255:266-36, 2004.

ISAAC, L.; WOOD, C.W. & SHANNON, D.A. Decomposition and nitrogen release of prunings from hedgerow species assessed for alley cropping in Haiti. Agron. Journal, 501:511-92, 2000.

MARCELO, A.V. & CORÁ, J.E. Carolina Fernandes Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. II- decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. R. Bras. Ci. Solo, 36:1568-1582, 2012.

MATEUS, G.P.; CRUSCIOL, C.A.C. & NEGRISOLI, E. Palhada do sorgo de guiné gigante no estabelecimento de plantas daninhas em área de plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 539:542-39, 2004.

MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; CARDOSO, I.M.; LIMA, P. C. & FREESE, D. Decomposition and nutrient release of leguminous plants in coffee agro forestry systems. R. Bras. Ci. Solo, 35:141-149, 2011.

MONEGAT, C. Plantas de cobertura do solo: Características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó, SC: Ed. do autor, 1991. 337p.

PAL, D. & BROADBENT, F.E. Kinetics of rice straw decomposition in soils. J. Environ. Quality, 4:256-260, 1974.

PAUL, E.A. & CLARK, F.E. Soil microbiology and biochemistry. San Diego, Academic Press, 1989. 275p.

PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L., MCMAHON, T.A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11:1633-1644, 2007.

REINERTSEN, S.A.; ELLIOTT, L.F.; COCHRAN, V.L. & CAMPBELL, G.S. The role of available C and N in determining the rate of wheat straw decomposition. *Soil Biol. Biochem.*, 16:459-464, 1984.

REY, C.; STAHL, J.; ANTONIN, P. & NEWRY, G. Stades reperes de loignon de semis. *Rev. Suisse de Vit. Arb. Hort.*, 6:101-104, 1974.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C. & FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:362-27, 2003.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C. & FOLONI, J.S.S. Potassium leaching from millet straw as affected by rainfall and potassium rates. *Commun Soil Sci Plan*, 1063:1074-36, 2005.

SILVA, A.A.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L.; PIANA, A.T.; STRIEDER, M.L.; JANDREY, D.B. & ENDRIGO, P.C. Produtividade do milho irrigado em sucessão a espécies invernais para produção de palha e grãos. *Pesq. Agropec. Bras.*, p.43, 2008.

SOUZA M.; COMIN J.J.; LEGUIZAMÓN, E.S.; KURTZ, C.; BRUNETTO G.; JÚNIOR, V.M.; VENTURA, B. & CAMARGO, A.P. Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. *Cienc. Rural*, 43:21-27, 2013.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, planta e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

TEIXEIRA, L.A.J.; QUAGGIO, J.A. & MELLIS, E.V. Ganhos de eficiência fertilizante em bananeira sob irrigação e fertirrigação. *R. Bras. de Fruticultura*, 27:278-33, 2011.

THOMAS, R.J. & ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biol. Biochem.*, 25:1351-1361, 1993.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.C. & FABIAN, A.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 60:618-29, 2005.

TRINSOUTROT, I.; RECOUS, S.; BENTZ, B.; LINÈRES, D.; CHÈNEBY, D. & NICOLARDOT, B. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. *Soil Sci Soc Am J.*, 64:918-926, 2000.

VANLAUWE, J. D.; SANGINGA, N. & MERCKX, R. Residue quality and decomposition: an unsteady relationship? In: CADISCH, G.; GILLER, K. E. *Driven by nature plant litter quality and decomposition*. Wallingford, CAB International, 1997, p.157-166.

WIEDER, R.K. & LANG, G.E. A critique of the analytical methods used examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*, 1636:1642-63, 1982.

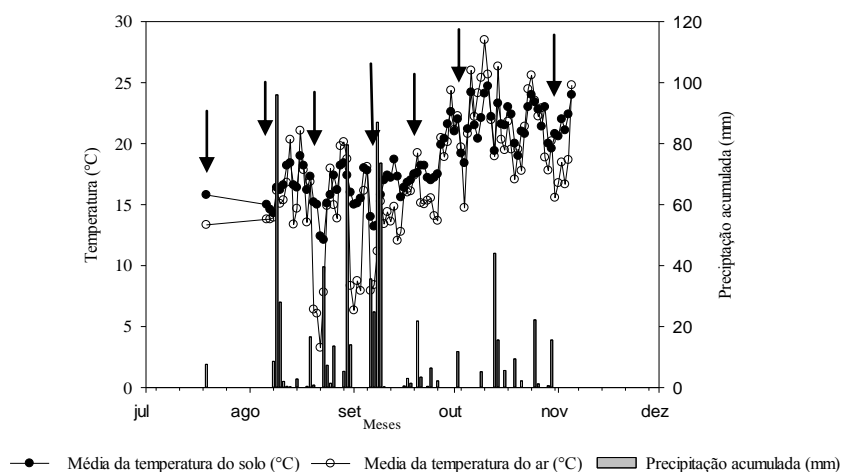


Figura 1. Temperatura média do ar e do solo, e precipitação ao longo da condução do experimento (As setas verticais indicam as datas de coleta das bolsas de decomposição).

Quadro 1. Características químicas iniciais dos resíduos aveia preta (AV), centeio (CE) e nabo-forrageiro (NF), solteiros e consorciados, e quantidades adicionadas em cada tratamento de matéria seca (MS), carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (média±desvio padrão).

Variável	AV	CE	NF	AV+NF	CE+NF
C, g kg ⁻¹ de MS ⁽¹⁾	346±0,4	349±0,2	334±0,3	325±0,3	288±0,3
N, g kg ⁻¹ de MS ⁽¹⁾	15,5±0,3	13,3±0,3	24,6±0,1	19,1±0,3	17,7±0,3
P, g kg ⁻¹ de MS ⁽¹⁾	3,3±0,2	2,7±0,2	5,1±0,3	3,9±0,2	3,6±0,2
K, g kg ⁻¹ de MS ⁽¹⁾	10,5±0,3	8,5±0,3	7,6±0,3	9,5±0,2	8,1±0,3
Ca, g kg ⁻¹ de MS ⁽¹⁾	1,6±0,3	1,3±0,2	6,8±0,2	3,6±0,2	3,5±0,2
Mg, g kg ⁻¹ de MS ⁽¹⁾	1,5±0,2	1,1±0,2	0,9±0,4	1,2±0,2	1,0±0,2
Cel g kg ⁻¹ de MS ⁽²⁾	652,8±0,3	462,4±0,2	771,0±0,2	700,0±0,2	590,0±0,3
Lig. g kg ⁻¹ de MS ⁽²⁾	347,2±0,2	537,6±0,2	229,0±0,2	299,9±0,2	419,9±0,2
C/N	22,3	26,2	13,6	17,1	16,3
Cel./Lig.	1,8	0,8	3,3	2,3	1,4
Lig./N	22,4	40,4	9,3	15,7	23,7
Lig./P	105	199	44	76	116
MS, kg ha ⁻¹	8.720	8.187	8.427	10.937	11.554
C, kg ha ⁻¹	3024,1	2857,2	2821,3	3561,0	3336,7
N, kg ha ⁻¹	135,1	108,8	207,3	208,9	204,5
P, kg ha ⁻¹	28,7	22,1	42,9	42,6	41,5
K, kg ha ⁻¹	91,5	69,5	64,0	103,9	93,5
Ca, kg ha ⁻¹	13,9	10,6	57,3	39,3	40,4
Mg, kg ha ⁻¹	13,0	9,0	7,5	13,1	11,5

⁽¹⁾ Determinado segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995); ⁽²⁾ Determinado de acordo com metodologia proposta por Aber & Martin (1999); Cel.= celulose; Lig.= lignina.

Quadro 2. Teor (%) total de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), celulose (Cel.) e lignina (Lig.) e relação cel./lig., C/N, lig./N e lig./P, em resíduos de aveia preta (AV), centeio (CE) e nabo-forrageiro (NF), aveia preta+nabo-forrageiro (AV+NF) e centeio+nabo-forrageiro (CE+NF), dias após a deposição (DAD), na superfície de um solo cultivado com cebola (média±desvio padrão).

DAD	C	N	P	Cel.	Lig.	Cel./Lig.	C/N	Lig./N	Lig/P
AV									
18	33,32±0,70	1,60±2,70	0,24±0,02	65,7±0,2	34,2±0,2	1,9	20,8	21,4	142,8
36	32,69±0,95	1,51±0,04	0,20±0,02	67,0±0,9	32,9±0,9	2,0	21,6	21,7	164,5
54	31,61±0,48	1,36±0,13	0,16±0,02	68,7±0,9	31,2±0,9	2,2	23,2	22,9	183,6
72	30,20±0,90	1,09±0,47	0,18±0,02	69,5±0,3	30,4±0,3	2,2	27,7	27,8	190,0
90	29,67±1,12	0,70±0,28	0,16±0,02	70,4±1,3	29,5±1,3	2,3	42,3	42,1	184,5
108	29,27±1,27	0,41±0,28	0,12±0,03	70,5±0,6	29,4±0,6	2,3	71,3	71,8	245,4
CE									
18	35,15±0,80	1,29±0,04	0,21±0,05	47,3±1,4	52,6±1,4	0,8	27,2	40,8	250,9
36	34,40±0,35	1,07±0,12	0,16±0,02	55,5±4,7	44,4±4,7	1,2	32,1	41,5	277,9
54	34,14±0,33	0,86±0,07	0,13±0,01	55,2±2,3	44,7±2,3	1,2	39,6	52,0	344,3
72	33,66±0,32	0,67±0,11	0,12±0,01	57,4±0,3	42,5±0,3	1,3	50,2	63,4	354,5
90	33,32±0,57	0,62±0,07	0,10±0,02	59,0±1,0	40,9±1,0	1,4	53,7	66,0	409,7
108	32,32±0,59	0,52±0,04	0,06±0,02	60,3±1,8	39,6±1,8	1,5	62,1	76,3	661,5
NF									
18	34,98±0,21	1,67±3,30	0,25±0,06	77,6±0,6	22,4±0,6	3,4	25,7	16,4	44,8
36	34,01±0,45	1,26±0,28	0,20±0,06	80,9±2,5	19,0±2,5	4,2	26,9	15,0	95,0
54	33,32±0,90	1,13±0,13	0,17±0,02	84,4±2,1	15,5±2,1	5,4	29,4	13,7	91,6
72	31,88±1,31	0,83±0,14	0,15±0,01	86,8±0,3	13,1±0,3	6,6	47,5	19,6	87,6
90	31,12±1,55	0,58±0,12	0,09±0,02	87,4±0,7	12,5±0,7	6,9	53,6	21,5	139,0
108	28,54±0,50	0,36±0,14	0,07±0,02	90,4±0,5	9,5±0,5	9,4	79,2	26,5	136,5
AV+NF									
18	34,24±0,43	1,67±1,90	0,22±0,02	37,3±10,5	62,6±10,5	0,5	20,5	37,4	284,5
36	33,82±0,40	1,43±0,04	0,20±0,04	49,1±0,0	50,8±0,0	0,9	23,6	35,5	254,3
54	32,56±0,69	1,32±0,07	0,18±0,01	50,6±0,4	49,3±0,4	1,0	24,6	37,4	274,3
72	31,01±1,97	1,09±0,20	0,18±0,02	55,5±0,8	44,4±0,8	1,2	28,4	40,7	247,0
90	28,30±1,36	0,86±0,05	0,16±0,01	56,2±0,5	43,7±0,5	1,2	32,9	50,8	273,3
108	26,75±1,20	0,62±0,03	0,13±0,02	57,1±0,6	42,8±0,6	1,3	59,2	69,0	329,4
CE+NF									
18	34,72±6,31	1,40±8,60	0,22±0,06	39,7±10,1	60,2±10,1	0,6	24,8	43,0	274,0
36	29,94±0,89	1,17±0,15	0,20±0,00	45,0±0,2	54,9±0,2	0,8	25,5	46,9	274,9
54	28,21±0,43	1,16±0,25	0,18±0,02	47,6±0,5	52,3±0,5	0,9	24,3	45,1	290,7
72	27,33±0,36	0,97±0,10	0,16±0,01	48,9±1,0	51,0±1,0	0,9	28,1	52,5	318,8
90	26,64±1,30	0,57±0,04	0,13±0,02	51,9±5,2	48,0±5,2	1,0	46,7	84,3	369,8
108	23,70±2,18	0,40±0,05	0,11±0,02	53,4±4,8	46,6±4,8	1,1	59,2	115,1	423,6

Quadro 3. Parâmetros dos modelos ajustados ($X = X_0 \exp(-kt)$) aos valores remanescentes de matéria seca (MS), carbono (C), celulose (Cel.) e lignina (Lig.), tempo de meia-vida ($t^{1/2}$) e o valor de coeficiente de determinação (R^2), em resíduos de aveia preta (AV), centeio (CE) e nabo-forrageiro (NF), aveia preta+nabo-forrageiro (AV+NF) e centeio+nabo-forrageiro (CE+NF), em decomposição sobre a superfície do solo cultivado com cebola.

Resíduos	Parâmetros da equação de decomposição			
	$X_0^{(1)}$	$k^{(2)}$	$t^{1/2(3)}$	R^2
	%	g g ⁻¹	(dias)	
-----MS-----				
AV	105,14	0,0042*	165	0,92*
CE	103,70	0,0031*	223	0,84*
NF	105,60	0,0138*	50	0,96*
AV+NF	107,80	0,0050*	138	0,73*
CE+NF	106,81	0,0041*	169	0,83*
-----C-----				
AV	100,36	0,0057*	121	0,97*
CE	103,95	0,0039*	177	0,92*
NF	104,20	0,0150*	46	0,97*
AV+NF	107,63	0,0064*	108	0,80*
CE+NF	100,95	0,0063*	110	0,95*
-----Lig-----				
AV	101,23	0,0057*	121	0,97*
CE	103,67	0,0065*	106	0,91*
NF	108,65	0,0193*	35	0,97*
AV+NF	106,16	0,0046*	150	0,81*
CE+NF	105,88	0,0047*	147	0,91*
-----Cel-----				
AV	101,06	0,0032*	216	0,79*
CE	98,61	0,0030*	231	0,70*
NF	110,74	0,0128*	54	0,91*
AV+NF	87,90	0,0064*	108	0,46*
CE+NF	88,09	0,0034*	203	0,32*

⁽¹⁾ Proporção inicial de matéria; ⁽²⁾ Constante de decomposição; ⁽³⁾ Tempo de meia-vida;

*Significativo a 5% de probabilidade.

Quadro 4. Parâmetros dos modelos ajustados ($X = X_0 \exp(-kt)$) aos valores remanescentes do total de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), tempo de meia-vida ($t^{1/2}$) e o valor de coeficiente de determinação (R^2), em resíduos de aveia preta (AV), centeio (CE) e nabo-forrageiro (NF), aveia preta+nabo-forrageiro (AV+NF) e centeio+nabo-forrageiro (CE+NF), em decomposição sobre a superfície do solo cultivado com cebola.

Resíduos	Parâmetros da equação de decomposição			
	Xo ⁽¹⁾	k ⁽²⁾	t ^{1/2(3)}	R ²
	%	g g ⁻¹	(dias)	
			N	
AV	111,42	0,0115*	60	0,89*
CE	107,47	0,0112*	61	0,96*
NF	98,47	0,0283*	24	0,96*
AV+NF	104,04	0,0115*	60	0,93*
CE+NF	101,84	0,0131*	52	0,94*
			P	
AV	92,44	0,0122*	56	0,95*
CE	99,16	0,0146*	47	0,96*
NF	98,70	0,0364*	19	0,98*
AV+NF	86,84	0,0134*	51	0,74*
CE+NF	92,34	0,0133*	52	0,85*
			K	
AV	97,40	0,0458*	15	0,97*
CE	98,34	0,0526*	13	0,97*
NF	98,49	0,0745*	9	0,98*
AV+NF	96,32	0,0463*	14	0,94*
CE+NF	92,62	0,0336*	20	0,94*
			Ca	
AV	110,71	0,0151*	45	0,94*
CE	107,24	0,0117*	59	0,88*
NF	103,76	0,0249*	28	0,97*
AV+NF	99,98	0,0180*	38	0,93*
CE+NF	96,72	0,0267*	25	0,97*
			Mg	
AV	104,92	0,0155*	44	0,98*
CE	106,74	0,0155*	44	0,96*
NF	100,70	0,0187*	37	0,97*
AV+NF	106,40	0,0127*	54	0,94*
CE+NF	102,29	0,0122*	56	0,93*

⁽¹⁾ Proporção inicial de matéria; ⁽²⁾ Constante de decomposição; ⁽³⁾ Tempo de meia-vida;

*Significativo a 5% de probabilidade.

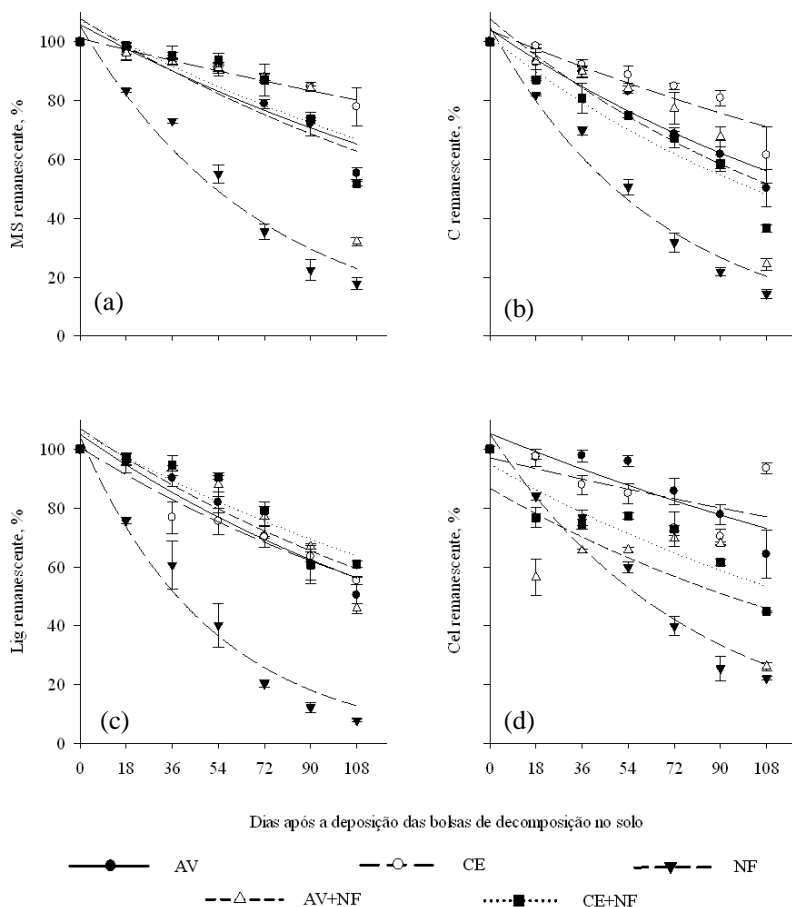


Figura 2. Percentagem remanescente de matéria seca (MS) (a), carbono (C) (b), celulose (Cel.) (c) e lignina (Lig.), em resíduos de aveia preta (AV), centeio (CE) e nabo-forrageiro (NF), aveia preta+nabo-forrageiro (AV+NF) e centeio+nabo-forrageiro (CE+NF), em decomposição sobre a superfície do solo cultivado com cebola (As barras verticais indicam a média \pm desvio padrão).

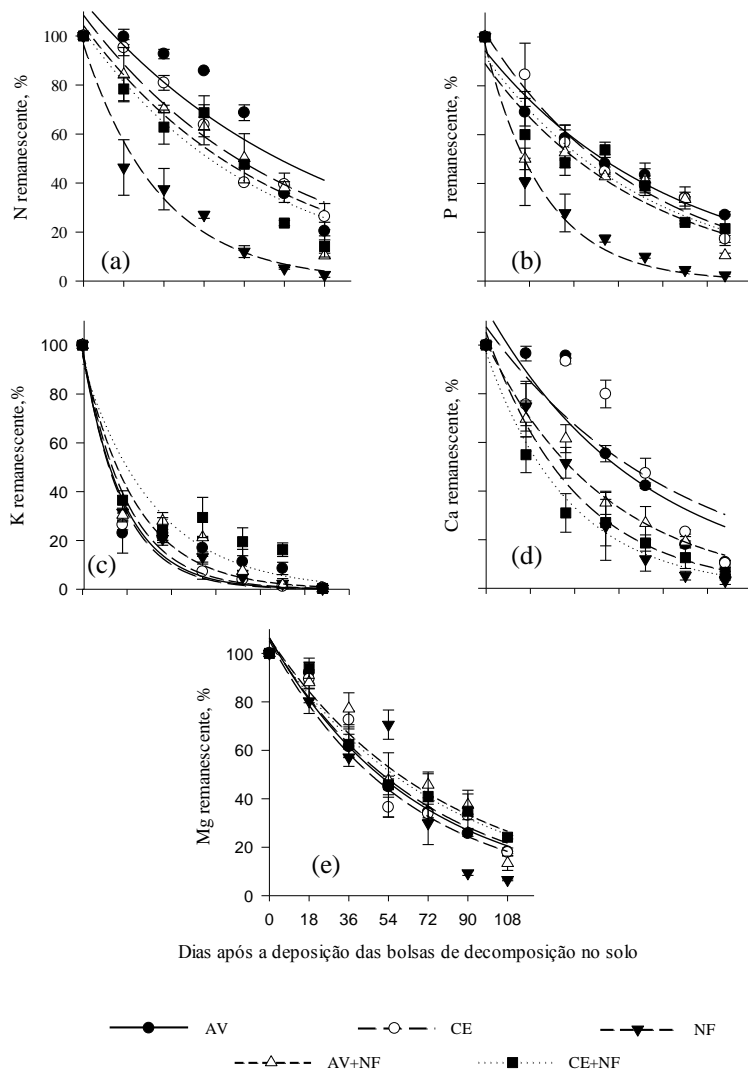


Figura 3. Percentagem remanescente de nitrogênio (N) (a), fósforo (P) (b), potássio (K) (c), cálcio (Ca) (d) e magnésio (Mg) (e), em resíduos de aveia preta (AV), centeio (CE) e nabo-forrageiro (NF), aveia preta+nabo-forrageiro (AV+NF) e centeio+nabo-forrageiro (CE+NF),

em decomposição sobre a superfície do solo cultivado com cebola (As barras verticais indicam a média \pm desvio padrão).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nos Artigo I e II mostram que os resíduos de centeio+nabo-forrageiro depositados na superfície do solo promovem taxa de mineralização positiva no solo, quando incubado, o que aumenta a disponibilidade de N mineral ao longo do ciclo da cebola; especialmente, no solo com a deposição de resíduos de nabo-forrageiro solteiro e consorciado com centeio. Mas, por outro lado, os resíduos de aveia preta, centeio, aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro permaneceram por mais tempo na superfície do solo, o que aumenta a proteção da superfície do solo contra o impacto da gota da chuva, diminuindo a incidência de plantas daninhas, o escoamento da solução na superfície do solo e pode aumentar o armazenamento de água. Porém, com isso, boa parte dos nutrientes, como o N, P e K contidos no tecido são liberados em menores quantidades, comparativamente aos resíduos de nabo-forrageiro, que são decompostos com maior velocidade e, com isso, nutrientes, por exemplo, N, P e K são rapidamente liberados para o solo.